

***LA OPTIMIZACION DE
INVENTARIOS FORESTALES***

Documento Técnico 59/1997

Octubre, 1997

La Optimización de Inventarios Forestales

Proyecto BOLFOR
Calle Prolongación Beni 149
Santa Cruz, Bolivia

USAID Contrato: 511-0621-C-00-3027-00

David A. Hughell
Tropical Research & Development

Octubre, 1997

BOLFOR es un proyecto financiado por USAID y el Gobierno de Bolivia e implementado por Chemonics International, con la asistencia técnica de Conservation International, Tropical Research and Development y el Wildlife Conservation Society

TABLA DE CONTENIDO

	Página	
SECCION I	INTRODUCCION	I-1
	A. Términos de Referencia	I-1
	B. Actividades Realizadas	I-1
SECCION II	INVENTARIOS FORESTALES DE BOLFOR	II-1
	A. Diseño de Inventario	II-1
	A1. Estratificación	II-1
	B. Tipo de Muestreo	II-2
	B1. Inventarios Tipo Bitterlich	II-2
	C. Tamaño y Número de Parcelas	II-3
	D. Manejo de Datos de Inventarios Forestales	II-3
	D1. Importancia del Uso de Programas de Manejo de Bases de Datos	II-4
	E. Análisis de Datos y Preparación de Planes de Manejo	II-4
	E1. Programa de Resúmenes	II-4
	F. Estudios de Aprovechamiento	II-5
SECCION III	SIMULACION DE MUESTREO	III-1
	A. Análisis de los Resultados de Simulación	III-1
	B. Seminario	III-3
SECCION IV	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	IV-1

Anexo 1.	Resúmenes de Inventarios: Guia de Operación	
1.	Introducción	A1-1
2.	Ejecución del Programa	A1-1
2.1	Datos del Inventario	A1-1
2.2	Ejecución del Programa	A1-1
2.3	Descripción del Algoritmo de Resúmenes	A1-3
2.4	Interpretación de los Resultados	A1-3
3.	Conclusiones	A1-5
Anexo 2.	BOLFOR: Simulador de Muestreo - Guia de Operación	
1.	Introducción	A2-1
2.	Ejecución del Programa	A2-1
2.1	Preparación del Archivo de Datos de Entrada	A2-1
2.2	Archivo del Censo	A2-1
2.3	Archivo de Inventario de Subparcelas	A2-2
2.4	Parámetros del Programa	A2-2
2.5	Simulación de Inventarios	A2-4
2.6	Resumen de Datos por Diseño de Inventario	A2-6
3.	Modelo de Costos de Inventario	A2-7
4.	Integración de la Simulación con los Datos de Costos	A2-8
5.	Conclusiones	A2-9
5.1	Consideraciones para la Aplicación del Programa	A2-9
5.2	Aplicación del Programa	A2-10
Anexo 3.	Resultados de Simulación de Datos de las Trancas 95, El Choré y Lago Rey	A3-1
Anexo 4.	Seminario sobre Optimización de Inventarios Forestales	A4-1
Anexo 5.	Ecuaciones aplicadas	A5-1

SECCION I INTRODUCCION

El presente informe describe las actividades realizadas entre el 3 de agosto y el 5 de septiembre como consultor en inventarios forestales con el Proyecto BOLFOR. Se anexan al informe los documentos que describen los dos programas computacionales desarrollados para BOLFOR.

A. Términos de Referencia

Responsabilidades Generales

— El objetivo principal de la consultoría fue llevar a cabo un proyecto para determinar intensidades de muestreo y tamaños óptimos de unidades de muestreo en inventarios forestales en por lo menos dos tipos de bosque. El consultor estuvo a cargo de diseñar el proyecto y guiar al personal en la ejecución de los trabajos en el campo.

Tareas Específicas

- C Analizar la documentación disponible en BOLFOR sobre: inventarios forestales, informes de consultores, informes de viaje, mapas, y resumen de información básica.
- C Desarrollar un modelo de simulación de muestreo basado en la información de censo disponible para Las Trancas 95 con el fin de predecir tamaños de muestra e intensidades óptimas.
- C Validar en el campo la prescripción sugerida por el modelo.
- C Desarrollar un modelo de simulación de muestreo basado en la información de censo disponible de los inventarios hechos en Tarumá, Nueva Esperanza y Lago Rey.
- C Revisar los métodos de trabajo en inventarios que están siendo usados y promovidos por el proyecto BOLFOR y hacer las recomendaciones del caso.
- C Impartir un seminario (aproximadamente 2 horas) al personal de BOLFOR y sus beneficiarios en el que se presenten los principales resultados obtenidos.

B. Actividades Realizadas

La primera actividad fue reunir al personal técnico de BOLFOR y otros para discutir las metodologías que se implementan para la realización de inventarios forestales de reconocimiento, enfatizando cómo se usan estos datos para preparar planes de manejo. El 25 y

26 de agosto se visitó el bosque de la Empresa Amazonic@ (noroeste de Concepción) para observar de primera mano la toma de datos de censo (un inventario del 100%).

— Se revisó el *Sistema Computarizado de Procesamiento y Análisis de Inventarios Forestales (Versión 1.1)*, desarrollado por BOLFOR. Se programó en *FoxPro* (el lenguaje preferido por BOLFOR) un programa para resumir los datos de los inventarios de reconocimiento de forma que facilite la preparación de planes de manejo.

— Como herramienta para evaluar la eficiencia de diferentes diseños de muestreo, se desarrolló un programa de simulación de muestreo que usa como fuente los datos de censo o de parcelas divididas en subparcelas. Se demostró la aplicación del programa de simulación y la interpretación de los resultados con datos del censo de Las Trancas 95 y de los inventarios de El Choré y Lago Rey. Los datos de Nueva Esperanza no se prestaban para este tipo de análisis y no hubo tiempo dentro de las 5 semanas para validar en el campo los resultados del modelo de simulación (dos actividades en los términos de referencia).

Se capacitó a los técnicos forestales en la operación de los programas y al personal de informática en su codificación para que éstos puedan modificarlos y ajustarlos de acuerdo a las futuras necesidades de BOLFOR. Los comentarios y recomendaciones del autor fueron comunicados en un seminario realizado el 2 de septiembre, en el que participaron tanto el personal de BOLFOR como el de otras organizaciones.

SECCION II

INVENTARIOS FORESTALES DE BOLFOR

Para evaluar los inventarios forestales de reconocimiento, se usó una estrategia de arriba para abajo (*top-down*), primero examinando cómo se usan los datos de los inventarios en los planes de manejo forestal, examinando después cómo obtener estos datos de una manera eficiente mediante el inventario forestal.

A. Diseño de Inventario

Como la realización de un inventario forestal es una actividad requerida para la elaboración de planes de manejo y conlleva un costo significativo, es importante analizar cómo se podría mejorar la ejecución del inventario para que éste sea más eficiente en términos de cumplir con la precisión deseada a un costo mínimo. Existe bastante material escrito sobre la teoría de optimización del diseño de muestreo de los inventarios. Sin embargo, en la práctica normalmente no se dispone de datos necesarios sobre la variabilidad del bosque para aplicar esta teoría y resulta más apropiado diseñar cada inventario basándose en las experiencias obtenidas en los inventarios realizados en otros bosques con condiciones parecidas. Por lo tanto, al terminar un inventario es importante evaluar la eficiencia obtenida del mismo desde el punto de vista del diseño aplicado y los costos incurridos para aprovechar mejor esta experiencia en el futuro. En el contexto teórico, la estrategia de actualizar periódicamente las decisiones tomadas en base a las experiencias nuevas se define como *Amanejo evolutivo*¹. En el *Amanejo evolutivo* el manejo y la investigación están integrados de tal manera que para cada decisión se analiza el beneficio en términos de producción del sistema (beneficio inmediato) y de generar nueva información (un beneficio futuro). Por ejemplo, para la selección del diseño de muestreo a implementar, se analiza tanto la forma en que la decisión podría ayudar a generar nueva información para inventarios en el futuro, como su eficiencia para estimar las características actuales del bosque.

A1. Estratificación

La primera actividad en el diseño de un inventario es la estratificación del bosque y la identificación de las poblaciones de muestreo. Idealmente se estratifica primero y, después, se formula independientemente el esquema de muestreo de cada estrato. Sin embargo, muchas veces no existe información adecuada (mapas temáticos, fotos aéreas) para realizar una buena estratificación. En estas situaciones, es mejor planificar el inventario para toda el área y, después de realizar el trabajo de campo, validarlo estadísticamente si se justifica la estratificación. Esta

¹ En inglés *Adaptive management*. Para más información sobre manejo evolutivo vea el libro *Adaptive Management of Renewable Resources*. (Walters, Carl 1986).

es la situación que se encuentra en muchos de los inventarios ejecutados por BOLFOR y sus beneficiarios.

Es importante reconocer que la validación de la estratificación basándose en el inventario no quiere decir que se estratifica en base a los resultados de inventario (estratificación *a posteriori*). No se puede proyectar tal clase de estratificación (con una validez estadística) a toda la población de muestreo (área total del inventario). Lo que sí se puede hacer es usar los resultados del inventario para obtener información sobre ciertos tipos de bosques ya identificados en la estratificación (en las fotos aéreas o imágenes de satélite).

Un inventario puede tener errores de medición, errores de muestreo y errores de estratificación, entre otros. Aquí se enfoca el error de muestreo, sin embargo, el error de estratificación puede ser mucho mayor. Los inventarios de bosques tropicales apoyados por BOLFOR muchas veces no cuentan con buena información en que basar la estratificación. Las fotos aéreas normalmente son antiguas y muy escasas, y las imágenes de satélite pueden presentar problemas por su resolución. La adquisición de nuevas fotos aéreas es una opción para mejorar la exactitud de los inventarios de reconocimiento, aunque esto tiene su costo.

B. Tipo de Muestreo

Para facilitar la ubicación de las parcelas en el bosque, un diseño sistemático es más eficiente que un diseño completamente aleatorio, siempre y cuando las parcelas del diseño sistemático se ubiquen en toda el área del inventario.

B1. Inventarios Tipo Bitterlich

Casi todos los inventarios realizados hasta la fecha por BOLFOR usan parcelas largas y angostas (por ejemplo 20m x 250m), para facilitar la toma de datos. Esta es una estrategia bastante práctica desde el punto de vista de medición en el campo, siempre y cuando toda la parcela quede dentro del mismo estrato. Se informó al autor que se probaron parcelas de área variable o Bitterlich (donde el tamaño es proporcional al diámetro del árbol), y por problemas de visibilidad (entre otros) fue difícil determinar cuales árboles caían dentro de la parcela. Sin embargo, en otros lugares (como los inventarios nacionales en Indonesia) los inventarios con parcelas Bitterlich han resultado mejores a los de parcelas de área fija. Una ventaja del inventario Bitterlich es que se concentra el esfuerzo de medición en los árboles grandes, donde está el volumen de madera aprovechable. Por otro lado, las parcelas Bitterlich han sido criticadas para inventarios de bosques mixtos tropicales por no representar adecuadamente todas las especies (especialmente las especies no comunes y pequeñas).

Se recomienda hacer más pruebas con este tipo de parcela. Tal vez cuando el personal de campo adquiera mayor práctica en este tipo de parcelas el proceso sea más eficiente. Cuando exista duda sobre si un árbol entra, es necesario medir el DAP² (diámetro a la altura del pecho) y

²Diámetro a la altura del pecho

la distancia del árbol al centro de la parcela. Al principio puede ser necesario medir muchos árboles, pero con la práctica es posible realizar el inventario midiendo pocos.

Una característica de los inventarios Bitterlich es que requieren una muestra mayor de parcelas para obtener la misma precisión. Sin embargo, el costo por parcela es menor, especialmente si las parcelas están agrupadas (por ejemplo en grupos de 5) y si se escoge el factor basimétrico para que cada parcela tenga un promedio de 5 árboles.

C. Tamaño y Número de Parcelas

La pregunta clave de cualquier inventario es el tamaño de la parcela y el número de parcelas, ya que estos parámetros influyen directamente sobre la precisión y los costos. En general el tamaño óptimo de la parcela depende de la estructura del bosque (tamaño, densidad y grado de agregación de los árboles) y los costos, y el número de parcelas depende de la variación entre las parcelas y la precisión deseada. Por lo tanto, durante el diseño del inventario se sugiere primero establecer el tamaño de la parcela (de acuerdo con las características de bosque) y después el número de parcelas, basándose en la precisión deseada.

Dauber (1995)³ recomienda un muestreo de 100 parcelas, el cual es una buena guía considerando que si se estratifican estas 100 parcelas, éstas serán divididas entre varios estratos. Para el muestreo de un solo estrato homogéneo el número de parcelas podría ser mucho menor. Se espera que la experiencia ganada en inventarios de bosques parecidos y las herramientas de simulación presentadas aquí ayudarán a determinar con mayor precisión el diseño de muestreo a aplicar.

La intensidad de muestreo (como un porcentaje del área total) no es necesariamente un buen indicador de la validez del inventario, ya que el porcentaje de error correspondiente a los parámetros del bosque (densidad de árboles, área basal, volumen) es más importante. La extensión del área inventariada teóricamente no entra directamente en la determinación del número de parcelas, sin embargo, con áreas mayores existe mayor posibilidad de que el área sea más diversa y, además, los errores absolutos del inventario sean mayores. Por lo tanto, se justifica una mayor inversión (en la forma de más parcelas) para un inventario de un área más grande.

D. Manejo de Datos de Inventarios Forestales

El *Sistema de Inventarios Forestales*⁴, desarrollado en *FoxPro* para Windows versión 2.6 por el personal de informática de BOLFOP es una herramienta muy práctica y eficiente para manejar datos de inventarios forestales. Es elemental que se use para el manejo de todos los datos de inventarios. A la fecha, se está actualizando el sistema para manejo de datos de censos (inventarios de 100% de los árboles) y se recomienda también que éste se actualice para grabar

³ Dauber, Erhard 1995. *Guía Práctica y Teórica para el Diseño de un Inventario Forestal de Reconocimiento*. BOLFOP.

⁴ BOLFOP, 1997. *Sistema Computarizado de Procesamiento y Análisis de Inventarios Forestales (Versión 1.0)*.

datos de parcelas divididas en subparcelas.

D1. Importancia del Uso de Programas de Manejo de Bases de Datos

Es muy común que los técnicos y personal de apoyo usen hojas electrónicas (como *Lotus*, *Excel* y *QuattroPro*) para manejar sus datos. Esta estrategia es eficiente para conjuntos de datos pequeños y para actividades que requieren ser automatizadas, sin embargo, con volúmenes mayores de datos, es imprescindible el uso de un paquete de manejo de bases de datos (como *FoxPro*). La hoja electrónica no lleva la estructura formal de campos y registros de datos que tiene un paquete de manejo de base de datos. Estas características facilitan el desarrollo de programas para grabar, verificar, ligar tablas y realizar análisis, y también facilitar la documentación del mismo. Normalmente se usa la hoja electrónica cuando una base de datos es más apropiada por desconocer la operación el paquete de manejo de bases de datos. Por lo tanto, se recomienda que se impartan cursillos sobre el manejo de bases de datos a todo el personal que maneja y analiza datos.

E. Análisis de Datos y Preparación de Planes de Manejo

Se revisó un borrador del plan de manejo de Tarumá para examinar cómo se aplican los datos de los inventarios a la planificación del manejo del bosque. En general el inventario cumple en proponer la información necesaria para el plan, y el plan hace un uso apropiado de la información. Se sugiere que el plan presente los resúmenes de datos por estrato y evaluar si existen diferencias significativas entre los estratos. Se notó que en el plan no está clara la línea de análisis entre los datos del inventario y su presentación en el plan. Tampoco está claro de dónde provienen los datos de volumen de madera a aprovechar para las tres calidades de fuste (ver Cuadro #13 en la página 36 del plan). No se cuestiona si el procedimiento es válido, pero éste debe ser explícito.

E1. Programa de Resúmenes

Se sugiere que se desarrollen programas en *FoxPro* para automatizar y documentar la generación de las tablas requeridas para los planes de manejo. El *Sistema de Inventarios Forestales* tiene un módulo para generar tablas de datos resumidos por clase diamétrica que es muy útil. Sin embargo, hace falta un módulo que resuma los datos de los parámetros del bosque de una sola vez en la forma requerida por el plan de manejo.

Para responder a esta necesidad, se desarrolló el programa de resúmenes de inventarios (*resum.prg*) como un prototipo de programa que se podría crear. Este programa lee el archivo del inventario grabado en el *Sistema de Inventarios Forestales* y resume los datos de los parámetros del bosque (árboles por hectárea, dap, altura, área basal y volumen) por estrato y grupo comercial. Para cada parámetro, el programa calcula la media, la desviación estándar, el porcentaje de error y la estadística F de análisis de varianza (para validar la estratificación). El programa también graba los resúmenes por parcela en un archivo que puede ser usado como archivo de entrada a un paquete de análisis estadístico. El documento *Resúmenes de inventarios, guía de operación* (Anexo 1) describe en detalle este programa.

Para determinar si hubiera sido más eficiente utilizar una muestra con menos parcelas, el programa, además, tiene la opción de generar una tabla de los datos resumidos para cada AN@ número de parcelas. Por ejemplo, si el inventario fue de 100 parcelas, se podrían analizar las primeras 50, 60, 70, 80, 90 parcelas para determinar si una muestra menor hubiera dado los mismos resultados y con la misma precisión. Es importante tener cuidado con las conclusiones de este tipo de análisis. El determinar que una muestra con menos parcelas hubiera dado los mismos resultados con la misma precisión, no asegura que el próximo inventario dará la misma precisión con este número reducido de parcelas. El inventario realizado es como una sola observación de este tipo de diseño, y no representa necesariamente la población de inventarios a realizarse en el futuro. Es prudente formular conclusiones solamente después de analizar los resultados de varios inventarios.

F. Estudios de Aprovechamiento

Para un buen manejo es fundamental conocer qué hacer con los árboles aprovechados, así como la condición del bosque. Lo que pasa con los árboles durante el aprovechamiento es muchas veces el aspecto del proceso de manejo forestal sobre el que se cuenta con menos información. Actualmente en Bolivia las normas para el manejo sostenible requieren que el maderero lleve control de cada troza desde el bosque hasta el aserradero, de tal manera que cada troza que llega al aserradero lleve su etiqueta con el número de árbol del censo. Esto hace posible estudios muy valiosos de aprovechamiento. Los únicos costos para realizar estos estudios son la recolección de los datos de las trozas en el aserradero y el análisis de los datos. Con esta información, se podrían crear ecuaciones para estimar el volumen que realmente se aprovecha en base a las características de los árboles en pie. Es de suma importancia aprovechar esta oportunidad.

SECCION III

SIMULACION DE MUESTREO

La simulación por computadora es una técnica para obtener una distribución de resultados de un sistema bajo condiciones que no hayan sido observadas necesariamente en la realidad. Aquí, se aplica la simulación para obtener datos sobre diseños de muestreo con diferentes tamaños y números de parcelas, y de parcelas de área fija y de Bitterlich. Los datos en que se basa la simulación son del censo ejecutado sobre el área anual de aprovechamiento (AAA) y de los inventarios de reconocimiento con parcelas subdivididas. El documento *BOLFOR Simulador de Muestreo, guía de operación* (Anexo 2) describe en detalle este programa. Hoy en día la realización del censo del AAA es un requisito para el manejo sostenible de los bosques tropicales en Bolivia. Con estos datos el programa *BOLFOR Simulador de Muestreo* (BSM) permite aprovechar estos datos para simular los diferentes diseños de muestreo, incluyendo inventarios tipo *Bitterlich*.

A. Análisis de los Resultados de Simulación

Los resultados de las simulaciones, combinados con un modelo de costos permiten evaluar la eficiencia de los diferentes diseños. Por ejemplo, con BSM se simula una serie de inventarios (normalmente 10) sobre la base de cada una de las combinaciones de tamaño de la parcela y número de parcelas. Sobre la base de los resultados de los inventarios BSM, se evalúa la precisión (% error de muestreo) de cada diseño para generar los datos presentados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados de la simulación con BSM con los datos del censo de Las Trancas 95 en Lomerío. Cada dato es el promedio de % de error en área basal de 10 inventarios simulados. Las celdas sombreadas representan diseños que resultan de un error de muestreo menor al 10%.

número parcelas	Area de la parcela									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
10	36.1	32.5	32.5	29.0	24.4	22.9	23.2	27.5	25.8	21.9
20	26.2	22.3	21.3	19.7	18.8	17.4	15.3	18.0	16.1	14.5
30	22.2	18.4	17.8	16.1	15.7	14.3	12.2	14.5	13.2	12.2
40	19.5	15.7	15.2	14.2	13.4	12.6	12.0	11.8	11.6	11.0
50	17.3	13.9	13.4	12.5	11.9	11.5	10.7	10.4	9.9	9.6
60	16.7	12.8	12.0	11.5	10.7	10.3	9.8	9.4	9.2	8.8
70	15.3	12.3	11.0	10.7	9.8	9.4	8.9	8.7	8.3	8.1
80	14.3	11.5	10.1	9.9	9.2	8.9	8.3	8.1	7.8	7.6
90	13.6	10.9	9.5	9.2	8.6	8.3	8.0	8.0	7.3	7.3
100	12.7	10.4	9.1	8.6	8.2	7.8	7.5	7.6	7.0	6.9

El modelo de costos estima el número de brigada-días en el campo basándose en la distancia recorrida y al área de parcela levantada (Cuadro 2). El documento *BOLFOR simulador de muestreo, guía de operación* describe en detalle este modelo.

Cuadro 2. Costos en brigada-días de campo en base al modelo de costos del inventario de reconocimiento de Lomerío. El área sombreada identifica los diseños de muestreo que controlan el error menor al 10%, de acuerdo con el modelo de simulación.

número parcelas	Area de la parcela									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
10	14	15	15	16	17	17	18	19	19	20
20	20	21	23	24	25	27	28	29	31	32
30	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43
40	29	32	34	37	40	42	45	48	50	53
50	33	36	39	43	46	49	53	56	59	63
60	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72
70	40	44	49	54	58	63	68	72	77	82
80	43	48	53	59	64	69	75	80	85	91
90	46	52	58	64	70	76	82	88	94	100
100	48	55	62	68	75	82	88	95	102	108

Este análisis de eficiencia indica que los diseños más eficientes son de 90 parcelas de 0.3 ha y 70 parcelas de 0.5 ha.

Se usó la hoja electrónica *Excel* (Versión 5) para presentar los datos de las simulaciones y realizar los cálculos del modelo de costos. Los listados de las hojas electrónicas con gráficos para simulaciones en base a los censos de Las Trancas 95, El Choré y Lago Rey se presentan en el Anexo 3.

Se recomienda usar BSM para evaluar la eficiencia de inventarios, siempre y cuando existan datos disponibles de censo o de subparcelas. El resultado de la simulación de una sola área de inventarios no es tan útil como los resultados de simulación de varias áreas. Con los resultados de simulaciones de diferentes bosques se pueden formular y probar modelos para determinar el diseño de muestreo óptimo en base a las características del bosque. Se sugiere que se evalúen los siguientes modelos:

tamaño de la parcela = f (árboles por ha, dap, parámetro de agregación de los árboles)
 número de parcelas = f (variación entre parcelas, % de error aceptado).

B. Seminario

El día 2 de septiembre se impartió un seminario, en el que participaron 4 profesionales de BOLFOR y 9 de otras organizaciones (ver Anexo 4), para presentar el modelo de simulación y discutir inventarios forestales en general.

SECCION IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante la estadía del consultor en BOLFOR se evaluaron los procedimientos utilizados para realizar inventarios forestales de reconocimiento y se desarrolló un programa de simulación para mejorar la eficiencia de los inventarios en el futuro. Los procedimientos implementados actualmente por BOLFOR para realizar inventarios son en general sólidos y eficientes. Las siguientes, son las recomendaciones del consultor:

- C Se recomienda que el personal técnico pruebe en el campo la toma de datos mediante parcelas Bitterlich y compare la eficiencia con la toma de datos de parcelas de tipo área fija.
- C Se recomienda que todos los datos de inventarios y censos sean almacenados en archivos en una base de datos (*FoxPro*). La hoja electrónica es útil para realizar algunos análisis, pero no para archivar las copias maestras de los datos. Se recomienda que todo el personal técnico que usa computadoras aprenda bien la operación del paquete *FoxPro*.
- C Se recomienda que BOLFOR actualice sus programas de cómputo con *Windows 95* y *MicroSoft Office* para *Windows 95*, si bien es prudente esperar un tiempo después de la salida de versiones de programas para adoptarlas, BOLFOR ya ha esperado lo suficiente. Esta actualización del *software* permitiría al personal aprovechar las nuevas características de los programas y facilitaría el intercambio de información con personas externas al proyecto (incluyendo los consultores) que ya usan los nuevos programas.
- C Se recomienda al personal de informática agregar módulos para manejar los datos de censos y subparcelas al Sistema de Inventarios Forestales, y nuevos reportes para generar las tablas requeridas para la preparación de planes de manejo. Asimismo, se recomienda incorporar el programa de simulación al *Sistema de Inventarios Forestales*.
- C El aspecto de estratificación merece más atención, tanto en el diseño de los inventarios como en su importancia en el plan de manejo. Se recomienda estudiar estrategias para mejorar la estratificación.
- C Se recomienda que BOLFOR aproveche los datos que ligan cada troza en el aserradero con el árbol correspondiente del censo del AAA. Con estos datos se puede realizar estudios sobre el volumen que realmente se aprovecha de los árboles.

- C Se recomienda que se use el programa de simulación con cada conjunto apropiado de datos de censos y de parcelas subdivididas. Asimismo, se recomienda que se tomen los datos necesarios de costos de inventario para calibrar el modelo de costos para diferentes áreas.
- C Los resultados de las simulaciones preliminares indican que no se justifica el uso de parcelas de tamaño mayor a 0.5 hectáreas. Se sugiere que con algunas excepciones se usen parcelas de 0.5 hectáreas o menos.
- C Después de obtener un conjunto de resultados de simulaciones de diferentes tipos de bosques, se recomienda que se desarrollen modelos para estimar el diseño óptimo de inventarios en base a las características del bosque. Después de incurrir en el costo de un censo forestal, es beneficioso hacer este pequeño esfuerzo adicional para sacar mayor provecho de esta información.

1. Introducción

Si bien cada inventario es diferente, existe un conjunto de estadísticas que siempre es necesario calcular. Estos son los parámetros que caracterizan al bosque (n, dap, altura, área basal, volumen) resumidos por parcela, estrato e inventario. Este documento describe un programa prototipo (*resum.prg*) que resume los datos de un inventario de reconocimiento, calculando las siguientes estadísticas: promedio, desviación estándar, porcentaje error, estadística F (de análisis de varianza). Además, este programa resume los datos de inventario como si estuvieran compuesto por diferentes números de parcelas para evaluar la intensidad de muestreo.

Se considera este programa un Aprototipo@ ya que fue desarrollado para dar un ejemplo sencillo del tipo de resúmenes generales que se debe obtener de datos de inventarios forestales grabados en una base de datos. Se espera que el presente sea útil para la programación de una serie de programas que generen las tablas requeridas en un plan de manejo.

Resum.prg fue programado en FoxPro versión 2.6 para Windows para facilitar su compatibilidad con el *Sistema de Inventarios Forestales* del proyecto BOLFOR.

2. Ejecución del Programa

2.1 Datos del Inventario

El programa de resúmenes requiere el archivo de datos¹ y el archivo de especies, ambos en el formato usado por el *Sistema de Inventarios Forestales* del proyecto BOLFOR. El archivo de datos contiene un registro para cada árbol medido en el inventario y el archivo de especies contiene una entrada para cada especie.

2.2 Ejecución del Programa

Para ejecutar el programa se abre *FoxPro* (versión 2.6), se coloca dentro del directorio con los datos del inventario (por ejemplo con el comando `Aset default to \inventar\tablas@`), y se ejecuta el programa (`Ado \bsm\resu@`).

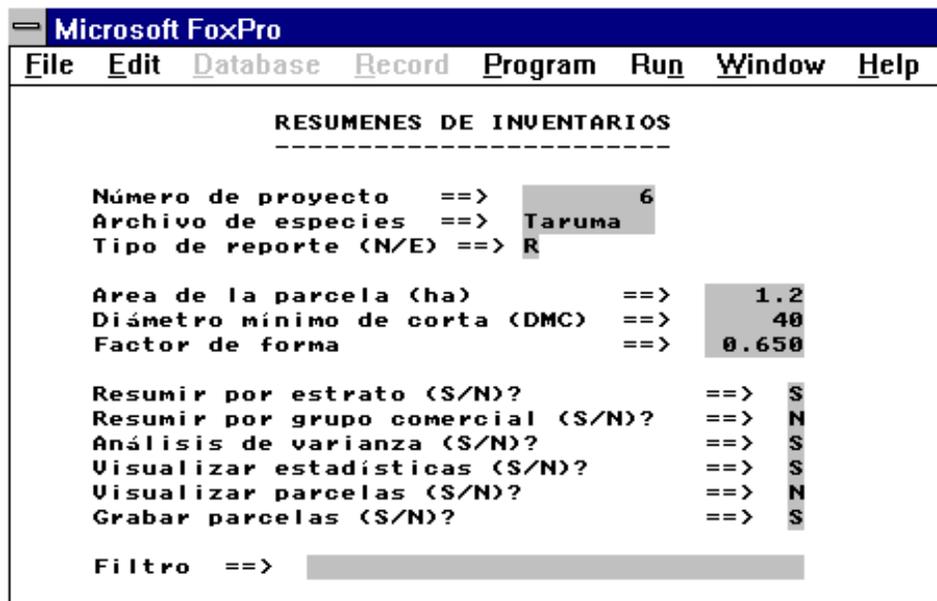
¹ El archivo de datos tiene el nombre `AInv_###@`, donde `A###@` es el número del inventario.

Primero el programa pide el nombre de los archivos de entrada y el tipo de reporte a generar (resúmenes o análisis de número de parcelas). Después el programa presenta una pantalla para que el usuario especifique los siguientes parámetros que controlan la ejecución del programa (ver figura 1):

- C área de la parcela (ha)
- C diámetro mínimo de corta (usado para separar el volumen total del volumen comercial)
- C factor de forma para calcular el volumen
- C frecuencia para resumir los datos del inventario (solamente para el análisis del número de muestra)
- C opciones para resumir los datos por estrato, grupo comercial y calcular estadísticas
- C opciones para visualizar y grabar resúmenes de parcelas
- C un filtro para limitar los datos del inventario que entrarán en el análisis.

Figura 1. Pantalla del programa de resúmenes para introducir los parámetros que controlan la ejecución del programa

Con una excepción, la implementación de las opciones es independiente. Por ejemplo se



pueden resumir los datos por estrato o grupo comercial, con ninguno o con ambos. Si se seleccionan opciones para resumir los datos por estrato y grupo comercial, la tabla de salida tendría resúmenes de cada grupo comercial dentro de cada estrato (la intersección de estratos y grupos comerciales). La excepción es la opción de realizar el análisis de varianza, la cual solamente resume los datos por estrato.

Después el programa procede a resumir los datos y despliega en la pantalla la tabla de salida. Para grabar los resultados dentro de un archivo de texto se puede abrir un archivo alternativo antes de correr el programa. Esto se hace en *FoxPro* con los siguientes comandos:

```
set alternate to <nombre del archivo de salida>
```

set alternate on

Si se selecciona la opción de grabar los resúmenes por parcelas, estos datos son grabados dentro de un archivo (formato *FoxPro*) que tiene el mismo nombre que el archivo de datos pero con la extensión A.dbp@. Posteriormente se puede usar este archivo para pasar los datos de resúmenes por parcela a un paquete de análisis estadístico o una hoja electrónica para realizar análisis más especializados.

2.3 Descripción del Algoritmo de Resúmenes

Todo lo que hace el programa de resúmenes son diferentes aplicaciones del mismo algoritmo, donde la diferencia está en el orden de procesar y la agrupación de los datos del inventario.

Primero el algoritmo abre el archivo de datos del inventario, y ordena los registros de acuerdo con los parámetros del programa. Por ejemplo, si los análisis son por estrato, los registros son ordenados por estrato + parcela, y si los análisis son por grupos comerciales, el orden es por grupo comercial + parcela. En el caso de grupos comerciales, una sola parcela puede estar representada en la salida varias veces, ya que existen parcelas con árboles en diferentes grupos comerciales. Por lo tanto, el total de parcelas sería mayor que el número de parcelas en el inventario. Es importante entender esta característica del programa para interpretar los resultados del programa. Este no es el caso con los resúmenes por estrato, ya que todos los árboles de una parcela siempre están dentro del mismo estrato.

Después el algoritmo empieza con el primer árbol y procede a evaluarlo secuencialmente, resumiendo los datos a tres niveles: parcela, sub-inventario, inventario. Los niveles de parcela e inventario son fijos, sin embargo, el nivel de sub-inventario está definido por los parámetros del programa, y puede ser el estrato, grupo comercial, la intersección de los dos, o cierto número de parcelas (para el análisis de intensidad de muestreo). Al procesar los datos de un nivel, el programa calcula y presenta las estadísticas correspondientes: el promedio, desviación estándar, porcentaje de error y análisis de varianza.

2.4 Interpretación de los Resultados

El programa resume los datos por número de árboles por hectárea (Arb), dap cuadrático, altura comercial (Hc), área basal por hectárea (AB), volumen por hectárea de todos los árboles (Vt) y volumen por hectárea de los árboles con diámetro mayor al dmc (Vc) (ver cuadro 1). El diámetro cuadrático corresponde al dap del árbol con el área basal promedio y tiene una mejor correlación con el volumen del árbol que el diámetro promedio corriente.

Cuadro 1. Ejemplo de los resultados del programa con los datos del inventario Tarumá resumidos por estrato.

REPORTE DE LOS ANALISIS POR ESTRATOS

Archivo fuente: Inv_006.dbf

Area de parcela: 1.2000

	Arb	Dap	Hc	AB	Vt	Vc
Estrato: 1 (30 parcelas)						
Promedio	113.1	38.4	10.1	13.1	97.9	65.4
Dev.Estand.	22.0	15.1	1.3	3.0	25.9	21.8
Error (%)	7.3	14.6	4.6	8.7	9.9	12.4
Estrato: 4 (54 parcelas)						
Promedio	109.7	36.0	9.4	11.2	80.8	49.2
Dev.Estand	34.9	18.5	1.6	4.4	38.1	30.7
Error (%)	8.7	14.1	4.6	10.8	13.0	17.2
Estrato: 6 (7 parcelas)						
Promedio	68.9	37.4	7.5	7.3	44.8	28.3
Dev.Estand.	18.2	27.1	0.5	3.3	24.9	25.4
Error (%)	24.4	66.9	6.5	42.4	51.4	82.8
Resúmenes del inventario (91 parcelas)						
Promedio	107.7	36.9	9.5	11.5	83.7	52.9
Dev.Estand.	32.0	18.9	1.6	4.2	36.1	29.3
Error (%)	6.2	10.7	3.4	7.6	9.0	11.6
SC trat.	11604	127	40	204	17103	9667
CM trat.	5802	63	20	102	8552	4833
SC error	80454	1787	180	1357	100131	67636
CM error	914.3	20.3	2.0	15.4	1137.9	768.6
SC total	92058	1913	220	1561	117234	77303
F calculado	6.35	3.12	9.72	6.61	7.52	6.29
	**	*	**	**	**	**

F.05,2,88 = 3.11

F.01,2,88 = 4.88

La desviación estándar cualifica la dispersión de los datos alrededor del promedio. Se interpreta el porcentaje de error como el porcentaje del promedio estimado donde se encontrará el promedio exacto de la población en 95% por ciento de los inventarios con el mismo diseño. Como regla general (pero no fija), se quiere mantener el porcentaje de error por debajo de 10% para inventarios forestales.

El resultado del análisis de varianza evalúa si existe una diferencia significativa entre los estratos, pero no indica entre cuales estratos se encuentra esta diferencia. Para esto, tendría que aplicarse un análisis de comparaciones múltiples entre los valores promedio de estratos específicos. El archivo de resúmenes por parcela contiene los datos necesarios para realizar este tipo de análisis con un paquete estadístico².

En términos de controlar el error, si existen diferencias grandes entre los estratos y se estratifica, se reducirá el error por la eliminación del error entre estratos. Sin embargo, cuando se estratifique, se reduce el tamaño de muestra por tener que repartirlo entre los estratos. Es importante recordar que la decisión de proceder con los análisis para el plan de manejo con el área estratificada o como un solo tipo de bosque depende de criterios técnicos y prácticos, además de los criterios estadísticos.

Para la opción de analizar el número de parcelas, el programa resume los datos del inventario cada An@ parcelas (cuadro 2). Así, se puede comparar cómo hubiera sido el inventario si se hubiese interrumpido después de un número de parcelas menor que el número de la muestra. Es importante tener cuidado con la interpretación de este tipo de análisis, ya que solamente está basado en una instancia del inventario. En caso de que hubiese sido mejor tomar una muestra menor de parcelas en este inventario, esto no indica necesariamente que la muestra reducida sea adecuada en el próximo inventario. Esto solamente se puede determinar con un nivel de confianza después de aplicar este análisis a varios inventarios.

3. Conclusiones

El programa de resúmenes es un ejemplo de cómo podrían analizarse los datos de inventarios forestales de reconocimiento para el desarrollo del plan de manejo. Este programa no hace otro tipo de análisis, tales como resúmenes por clase diamétrica, los cuales también son importantes para los planes de manejo y ya están incorporados dentro del *Sistema de Inventarios Forestales* del proyecto BOLFOR.

La información generada por este programa calcula estadísticas que ayudan a evaluar las ventajas y desventajas de estratificar el bosque para el desarrollo del plan de manejo. Otro tipo de análisis evalúa cómo hubieran sido los resultados del inventario si se hubieran realizado con menos parcelas.

² Tal vez sería útil incorporar en el futuro comparaciones múltiples dentro del programa de resúmenes.

Cuadro 2. Ejemplo de los resultados del programa con los datos del inventario Tarumá resumidos por diferentes tamaños de muestras.

REPORTE DE ERROR POR NUMERO DE PARCELAS

Archivo fuente: Inv_006.dbf Area de parcela: 1.2000

	Arb	Dap	Hc	AB	Vt	Vc
Inventario (10 parcelas)						
Promedio	116.3	37.8	10.0	13.1	97.1	63.5
Dev.Estand.	19.0	16.5	1.1	3.7	34.1	28.9
Error (%)	11.7	31.3	8.1	20.1	25.2	32.5
...						
Inventario (70 parcelas)						
Promedio	109.1	36.7	9.3	11.7	83.9	53.4
Dev.Estand.	30.0	18.6	1.6	4.3	38.5	31.6
Error (%)	6.6	12.1	4.1	8.9	11.0	14.1
Inventario (80 parcelas)						
Promedio	109.5	36.8	9.4	11.7	84.5	53.6
Dev.Estand.	32.2	18.3	1.6	4.3	37.2	30.2
Error (%)	6.6	11.1	3.7	8.2	9.8	12.6
Inventario (90 parcelas)						
Promedio	108.1	37.0	9.5	11.6	84.1	53.3
Dev.Estand.	31.9	18.9	1.6	4.1	36.0	29.3
Error (%)	6.2	10.8	3.5	7.5	9.0	11.6
Inventario (91 parcelas)						
Promedio	107.7	36.9	9.5	11.5	83.7	52.9
Dev.Estand.	32.0	18.9	1.6	4.2	36.1	29.3
Error (%)	6.2	10.7	3.4	7.6	9.0	11.6
Resúmenes del inventario (91 parcelas)						
Promedio	107.7	36.9	9.5	11.5	83.7	52.9
Dev.Estand.	32.0	18.9	1.6	4.2	36.1	29.3
Error (%)	6.2	10.7	3.4	7.6	9.0	11.6

ANEXO 2
BOLFOR SIMULADOR DE MUESTREO: GUIA DE OPERACION

1. Introducción

La planificación forestal no puede existir sin datos cuantitativos sobre la condición del bosque. La adquisición de estos datos se efectúa mediante inventarios forestales de reconocimiento, los cuales tienen un costo de acuerdo al tipo e intensidad de muestreo. Aquí se presenta la simulación como una herramienta para evaluar la eficiencia de diferentes diseños de muestreo de inventarios forestales.

El programa de cómputo *BOLFOR Simulador de Muestreo* (BSM) usa datos de un censo (inventario de 100% de los árboles) o de un inventario forestal para simular diferentes diseños de muestreo, los cuales son definidos por el tipo de muestreo (parcelas de área fija vs. área variable o *Bitterlich*), el tamaño de las parcelas y la intensidad de muestreo (número de parcelas). Después de simular una serie de inventarios, el programa resume los errores de muestreo para comparar los diseños. La integración de estos resultados con datos de un modelo de costos del inventario permite determinar qué diseño es más eficiente para controlar el error a un nivel aceptable con el mínimo de costo. BSM fue programado en *FoxPro* versión 2.6 para Windows para facilitar su compatibilidad con el *Sistema de Inventarios Forestales* del proyecto BOLFOR.

2. Ejecución del Programa

2.1 Preparación del Archivo de Datos de Entrada

Antes de ejecutar la simulación, es necesario preparar el archivo de datos de entrada. Los dos tipos de datos en que se pueden basar las simulaciones son de censo (si existen coordenadas geográficas para cada árbol) y de un inventario de reconocimiento con parcelas divididas en subparcelas.

2.2 Archivo del Censo

Los datos mínimos del censo son el diámetro a la altura del pecho (dap), la altura comercial (hc) y las coordenadas cardinales (A_x & A_y en metros) de cada árbol del censo. El formato del archivo de censo debe seguir el formato patrón de *censo0.dbf*. Para realizar simulaciones en base a los datos del censo es necesario definir el área geográfica donde se simulará el inventario. Esto se define como un rectángulo con los valores mínimos y máximos de las coordenadas A_x (de Oeste a Este) e A_y (de Sur a Norte). Para hacer esto, es fundamental graficar¹ la ubicación de todos los árboles del censo y escoger los valores x e y que definen el rectángulo de simulación (orientado a

¹ Para graficar los datos del censo se puede usar el gráfico tipo ? scatter x,y? de una hoja electrónica.

los ejes cardinales) más grande que quede completamente dentro del área del censo. También es importante revisar el gráfico para verificar que toda el área del rectángulo esté cubierta de árboles y que no existan errores sistemáticos en la distribución de los árboles.

2.3 Archivo de Inventario de Subparcelas

El archivo de datos de un inventario de reconocimiento requiere el número de la parcela, el número de la subparcela, el dap y la altura comercial de los árboles (archivo patrón subparc0.dbf). Normalmente estas parcelas son muy largas, por ejemplo con un ancho de 20 m y un largo de 625 m (25 subparcelas de 25 m de largo).

2.4 Parámetros del Programa

Para ejecutar BSM se activa el paquete *FoxPro* (versión 2.6), se coloca dentro del directorio que contiene los datos del censo forestal (por ejemplo con el comando `Aset default to ____@`) y se corre el programa (`Ado \bsm\bsm@`). El programa procede a pedir los valores del siguiente conjunto de parámetros que controlan la simulación (ver Figura 1).

Parámetros para simulaciones con datos del censo:

- C Tipo de muestreo (parcelas de área fija vs. parcelas *Bitterlich*)
- C Valores que definen el área geográfica a simular (ver sección sobre el archivo de censo)
- C Dimensiones de la parcela² o el factor basimétrico
- \$ Distancia mínima aceptable entre parcelas

Parámetros para simulación con datos de subparcelas:

- \$ Número de subparcelas en cada parcela simulada
- \$ Ancho de la parcela
- \$ Largo de la subparcela
- \$ Muestreo con o sin re-emplazo de parcelas

Parámetros comunes entre ambos tipos de simulaciones:

- C Nombre del archivo del censo o de subparcelas (*.dbf*)

² Se sugiere simular parcelas cuadradas (en vez de angostas y largas) para evitar la amplificación de pequeños errores lineales en los datos del censo.

- C Diámetro mínimo de corta (usado para separar el volumen total del volumen comercial)
- C Número de inventarios a simular
- C Número de parcelas a simular por inventario
- C Frecuencia para resumir los datos del inventario (cada N número de parcelas) para simular inventarios de diferentes cantidades de parcelas de un solo
- C Base para iniciar la serie de números aleatorios usados para ubicar las parcelas
- C Opción de grabar los árboles dentro de cada parcela

Figura 1. Ejemplo de la pantalla para introducir los parámetros que controlan la simulación.

```

Microsoft FoxPro
File Edit Database Record Program Run Window Help

      BOLFOR Simulador de Muestreo
-----
Nombre de archivo de árboles ==> Trancas
Tipo de Simulación (R/B/S)  ==> R

xMin =    -35 ==> -1350
xMax =     55 ==>   920
yMin =   -50 ==> -1320
yMax =    94 ==> -200

Entrar x < 0 para usar valores en arreglo.
Tamaño de la parcela: X      ==> 70
                      Y      ==> 70
Dist. mínima entre parcelas ==> 80

Diámetro mínimo de corta (DMC) ==> 40
Num. parcelas por inven.      ==> 100
Num. inventarios              ==> 10
Resumir datos cada X parcelas ==> 10
Semilla para núm aleatorios   ==> 21320

Grabar árboles (S/N)?        ==> N
Parar entre cada parcela (S/N)? ==> N

```

Los resultados de las simulaciones son grabados dentro de archivos (formato *.dbf*) correspondientes a los cuatro niveles de información³ B árboles, parcelas, inventarios y diseños. Otro programa (*diseño.prg*) resume los datos de los inventarios simulados y calcula los errores correspondientes a cada diseño de inventario (definido por el área de la parcela y el número de parcelas). También BSM tiene prevista la opción de realizar una serie de simulaciones de parcelas de diferentes tamaños que son grabadas dentro de un arreglo internamente por el programa (el arreglo se llama *xTam*). Para seleccionar esta opción se introduce un valor negativo por el tamaño de la parcela.

2.5 Simulación de Inventarios

Esta sección describe brevemente el algoritmo de simulación de BSM (vea Figura 2). Este modelo se clasifica como una simulación espacial explícita y estocástica (*spatially explicit stochastic simulation*). El término estocástica refiere a que existe un componente aleatorio⁴ dentro del modelo, de tal manera que los resultados de cada inventario simulado son diferentes aún para los inventarios con el mismo diseño. El componente aleatorio es la ubicación de la parcela dentro del área de censo. Así, después de realizar una serie de simulaciones se obtiene una distribución de resultados que aproxima la distribución de inventarios potenciales a realizar en el bosque.

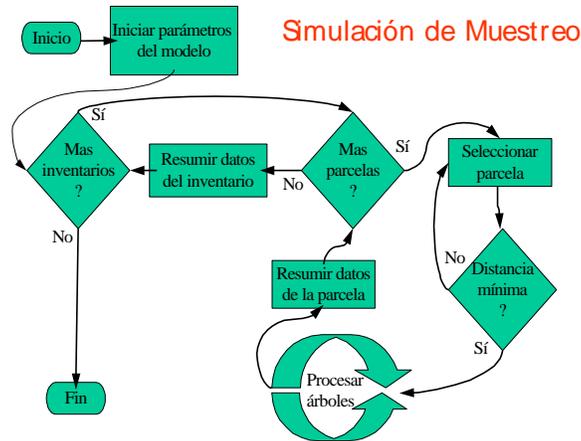


Figura 2. Diagrama de flujo del programa BOLFORSimulador de Muestreo.

³Los archivos de salida tiene el mismo nombre que el archivo de censo pero con una extensión que corresponde al nivel de información: árboles = *.dba*, parcelas = *.dbp*, inventarios = *.dbi* y diseño = *.dbd*.

⁴El análisis del generador de números aleatorios de *FoxPro* no encontró un sesgo ni ciclaje en los números en una serie de 20 millones de números. Se concluye que esta función es adecuada para el modelo de simulación.

Al ejecutar el programa BSM se inicializan todos los parámetros y se resumen los datos del censo dentro del área de simulación (tratando toda el área de simulación como si fuera una parcela) o del inventario de subparcelas. Estos son los valores exactos que se intenta estimar con los diferentes diseños de muestreos. Después el programa procede a seleccionar las parcelas a incluir en las simulaciones.

2.5.1 Selección de Parcelas en Base a Datos del Censo

Con números aleatorios se obtienen las coordenadas cardinales de la esquina sudoeste de la parcela (el programa asegura que la parcela entera esté dentro del ámbito del censo). Después se compara este punto geográfico con los puntos correspondientes a las parcelas ya incluidas dentro del inventario actual (grabadas en el archivo de parcela) para asegurarse de que la nueva parcela no viole la restricción de la distancia mínima entre parcelas. Si se viola esta restricción, se rechaza la ubicación de la nueva parcela y se repite el proceso con otro par de coordenadas aleatorias. Después de encontrar una parcela aceptable, se resumen los datos de todos los árboles del censo que caen dentro de la parcela.

2.5.2 Selección de Parcelas de Datos de Subparcelas

El proceso de selección de parcelas en base a un inventario de subparcelas es un poco diferente. Primero se genera una lista de todas las subparcelas. Después, con un número aleatorio, se selecciona una subparcela que será la primera subparcela en la parcela simulada. Se realiza una revisión para asegurar que hayan suficientes subparcelas que sigan a la subparcela seleccionada para formar la parcela simulada. Después se revisa la lista de parcelas simuladas para asegurar que esta parcela (o una de las subparcelas que comprende esta parcela) no haya sido incluida en el inventario simulado.

Si la parcela simulada no cumple con estos dos requisitos, ésta es rechazada y se selecciona una nueva parcela.

2.5.3 Análisis de los Datos de las Parcelas Simuladas

A partir del proceso de selección de parcelas, los análisis son iguales para simulaciones de datos de censos y de subparcelas.

Durante el proceso de selección y evaluación de parcelas se resumen y graban los datos del inventario cada N parcelas, donde N es la frecuencia especificada al iniciar el programa. Así, si N es 10, de una serie de 100 parcelas simuladas se pueden simular inventarios de 10, 20, 30 Y hasta 100 parcelas. Cuando se ha cumplido con el número especificado de parcelas de un inventario, se graban los resultados del inventario, se inician las variables del inventario y se procede a simular el próximo inventario.

Para cada inventario simulado se graban los datos del valor promedio, desviación estándar, y error (como porcentaje del valor promedio con una confianza de 95%) de los siguientes parámetros del rodal:

- \$ Número de árboles por hectárea (arb_ha)
- \$ Dap
- \$ Altura comercial (Hc)
- \$ Area basal (AB)
- \$ Volumen de todos los árboles (Vt)
- \$ Volumen de los árboles comerciales, con dap > diámetro mínimo de corta (Vc)

2.6 Resumen de Datos por Diseño de Inventario

Los datos de errores son de interés para evaluar la eficiencia de un diseño específico. El programa *diseno.prg* procesa el archivo de los inventarios y calcula el valor promedio de cada parámetro y la desviación estándar para cada diseño. Además, el programa aplica tres técnicas diferentes para estimar el porcentaje de error (las ecuaciones están presentadas en el Anexo 5):

1. Promedio de % error de muestreo de los inventarios simulados
2. Desviación estándar de la muestra de inventarios
3. Directamente de la diferencia en el valor estimado de cada inventario y el valor real del censo.

Los resultados de las tres técnicas para calcular el porcentaje de error son parecidos.

El porcentaje de error (de cualquiera de las tres ecuaciones) es la estadística que se usa para evaluar la precisión y confianza del diseño específico de inventario (Cuadro 1). Se describe como el porcentaje del promedio estimado donde se encontrará el promedio exacto de la población en 95% por ciento de los inventarios con el mismo diseño. Normalmente con inventarios forestales se considera como error aceptable un error menor a 10%.

Los parámetros del bosque que se incluyen en la evaluación del error dependen de los objetivos del inventario. Normalmente se fija el error en el área basal, como el parámetro del bosque que se puede estimar con mucha precisión ya que está muy correlacionado con el volumen.

Cuadro 1. Resultados de la simulación con BSM con los datos del censo de Las Trancas 95 (Lomerío). Cada dato es el promedio de % de error en área basal de 10 inventarios simulados. La celdas sombreadas representan diseños que resultan en error de muestreo menor de 10%.

número parcelas	Area de la parcela									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
10	36.1	32.5	32.5	29.0	24.4	22.9	23.2	27.5	25.8	21.9
20	26.2	22.3	21.3	19.7	18.8	17.4	15.3	18.0	16.1	14.5
30	22.2	18.4	17.8	16.1	15.7	14.3	12.2	14.5	13.2	12.2
40	19.5	15.7	15.2	14.2	13.4	12.6	12.0	11.8	11.6	11.0
50	17.3	13.9	13.4	12.5	11.9	11.5	10.7	10.4	9.9	9.6
60	16.7	12.8	12.0	11.5	10.7	10.3	9.8	9.4	9.2	8.8
70	15.3	12.3	11.0	10.7	9.8	9.4	8.9	8.7	8.3	8.1
80	14.3	11.5	10.1	9.9	9.2	8.9	8.3	8.1	7.8	7.6
90	13.6	10.9	9.5	9.2	8.6	8.3	8.0	8.0	7.3	7.3
100	12.7	10.4	9.1	8.6	8.2	7.8	7.5	7.6	7.0	6.9

3. Modelo de Costos de Inventario

El objetivo de modelar los costos de inventario es obtener datos cuantitativos con los que se puedan comparar los costos de los diferentes diseños de inventarios. Por lo tanto, solamente los costos variables son necesarios. Además, es suficiente calcular los costos en función del número de días que la brigada de medición estuvo en el campo. Como se define cada diseño por el tamaño de la parcela y el número de parcelas, el modelo requiere estos dos parámetros para estimar el costo.

El siguiente análisis es un ejemplo de un modelo simple de costos para diseños con parcelas de área fija (rectangulares). Dado un inventario sistemático, el costo consiste en los costos por distancia recorrida y los costos por área levantada. Del inventario de reconocimiento en Lomerío, los costos por distancia son: los de Apertura de pica@ de 0.5 día / km y el recorrido entre parcelas durante medición 0.063 día / km (2 km/hora con días de 8 horas). El costo por área es el levantamiento de la parcela (1.5 ha / día o 0.67 días / ha). Por lo tanto, la ecuación para estimar el número de días es:

$$\text{costos (días)} = (0.5 + 0.63) * (\text{distancia recorrida}) + 0.67 * (A_{\text{parc}})$$

Se puede aplicar la ecuación de Dauber (1995, p.v-2) para estimar la distancia recorrida:

$$distancia = \sqrt{A_{tot} * n}$$

Donde A_{tot} es el área total del bosque y n es el número de parcelas.

Sin embargo, esta ecuación supone que la distancia entre las líneas es igual a la distancia entre las parcelas, mientras que en realidad la distancia entre líneas es mayor. Para corregir esta diferencia se agrega un factor (F), que en Lomerío es de 0.5:

Con esto, la ecuación combinada de costos en número de días es:

$$das = 0.563 * \sqrt{A_{tot} * n * F} + 0.667 * n * A_p$$

Esta ecuación se puede introducir en una hoja electrónica para generar un cuadro de costos por número y área de parcelas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Costos en brigada días de campo en base al modelo de costos del inventario de reconocimiento de Lomerío. El área sombreada identifica los diseños de muestreo que controlan el error menor al 10%, de acuerdo con el modelo de simulación.

número parcelas	Área de la parcela									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
10	14	15	15	16	17	17	18	19	19	20
20	20	21	23	24	25	27	28	29	31	32
30	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43
40	29	32	34	37	40	42	45	48	50	53
50	33	36	39	43	46	49	53	56	59	63
60	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72
70	40	44	49	54	58	63	68	72	77	82
80	43	48	53	59	64	69	75	80	85	91
90	46	52	58	64	70	76	82	88	94	100
100	48	55	62	68	75	82	88	95	102	108

4. Integración de la Simulación con los Datos de Costos

La simulación identifica los diseños de muestreo que efectivamente controlan el error por debajo de un nivel aceptable (por ejemplo 10%), y el modelo de costos indica cuales de estos diseños son más económicos.

Por ejemplo, de la simulación del censo de Las Trancas 95 en Lomerío se obtienen los errores para el área basal y volumen comercial presentados en el Cuadro 1. Las celdas sombreadas del cuadro identifican los diseños donde el error es menor al 10%. Asimismo, el Cuadro 2 presenta los costos por diseños con las mismas celdas sombreadas. Considerando que solamente con las celdas sombreadas se alcanza una precisión aceptada, se seleccionan las celdas con menos costos. En este ejemplo estos son los diseños de 90 parcelas de 0,3 ha y 70 parcelas de 0,5 ha, los cuales tienen un costo de 58 por brigada días.

5. Conclusiones

El programa BOLFOR Simulador de Muestreo es una herramienta útil para mejorar la eficiencia de los inventarios forestales de reconocimiento. Si se dispone de datos de censo o parcelas divididas en subparcelas y de un modelo de costos, este programa estima con una confianza estadística la eficiencia de diseños de muestreo de diferentes tamaños y números de parcelas.

5.1 Consideraciones para la Aplicación del Programa

Como cualquier herramienta, es importante reconocer sus limitaciones para su uso correcto. La simulación es válida estadísticamente solamente para el área de censo, la cual ya lleva un inventario del 100%. Para extrapolar los resultados a otras áreas, es necesario examinar las diferencias entre el bosque del censo y el bosque meta. La simulación es muy sensible a errores o defectos en los datos del censo o las subparcelas. Por ejemplo, los errores en las coordenadas de los árboles de censo, dejando espacios sin árboles entre los carriles del censo, pueden resultar en una sobrestimación en el porcentaje de error de la simulación.

El modelo de simulación tiene un mecanismo para no medir la misma parcela dentro del mismo inventario simulado, pero la misma parcela sí puede ser incluida en otros inventarios simulados, resultando en una correlación artificial entre inventarios. Por lo tanto, es importante asegurar que el área de censo o de subparcelas sea suficientemente grande. En el ejemplo de Las Trancas 95, 250 ha del área de simulación (censo) no es un área adecuada para simular 10 inventarios de 100 parcelas de 1 ha.

Otro factor a considerar, es que el área de un inventario real es mucho más extensa que las áreas de censo. Es muy probable que al ser mayor el área de inventario, ésta tendría más variación que el área del censo. Muchas veces las áreas son estratificadas intentando tomar en cuenta esta variabilidad, pero a fin de cuentas se decide realizar el análisis agrupando los estratos. Así, el modelo de simulación subestimaría el error de muestreo real.

5.2 Aplicación del Programa

Se recomienda que se aplique este programa de simulación cuando existan datos apropiados disponibles de censo o de subparcelas. El beneficio de esta actividad no es tanto para evaluar la eficiencia del inventario que se haya realizado, sino para acumular información básica sobre la estructura del bosque, el tamaño de las parcelas, el número de parcelas en la muestra y la eficiencia de los inventarios. Después de adquirir muchos datos de este tipo, se podría formular un modelo para estimar el inventario más eficiente sobre la base de las características de bosque.

**ANEXO 3: RESULTADOS DE SIMULACION DE DATOS DE LAS TRANCAS 95, EL
CHORE Y LAGO REY**

LAS TRANCAS 95/LOMERIO

OPTIMIZACION DE MUESTREO

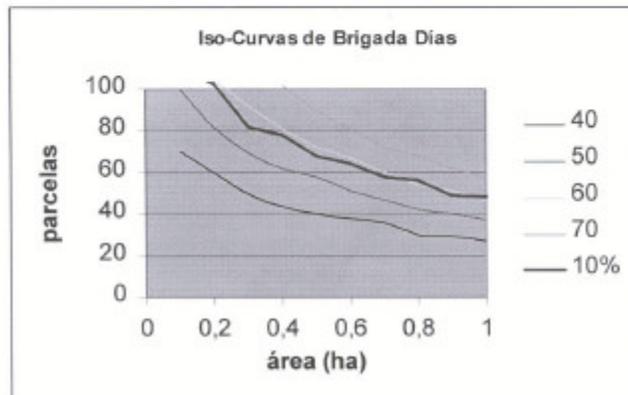
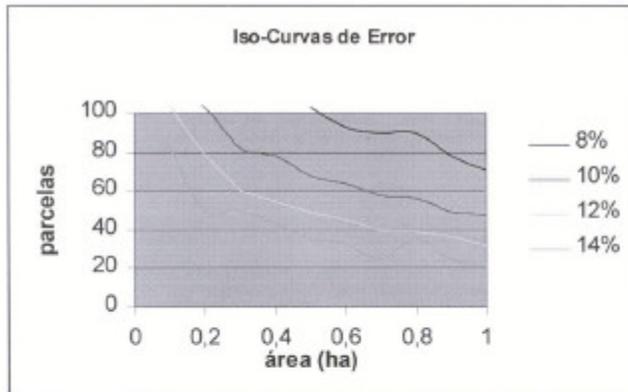
Optimización del inventario

Simulación de Las Trancas 95
%error

área	8	10	12	14
0,1		110	104	83
0,2		103	79	50
0,3		82	60	50
0,4		78	55	43
0,5	103	68	49	35
0,6	93	64	45	33
0,7	90	58	40	25
0,8	90	56	39	35
0,9	78	49	37	25
1	71	48	32	22

Modelo de costos
brigada días

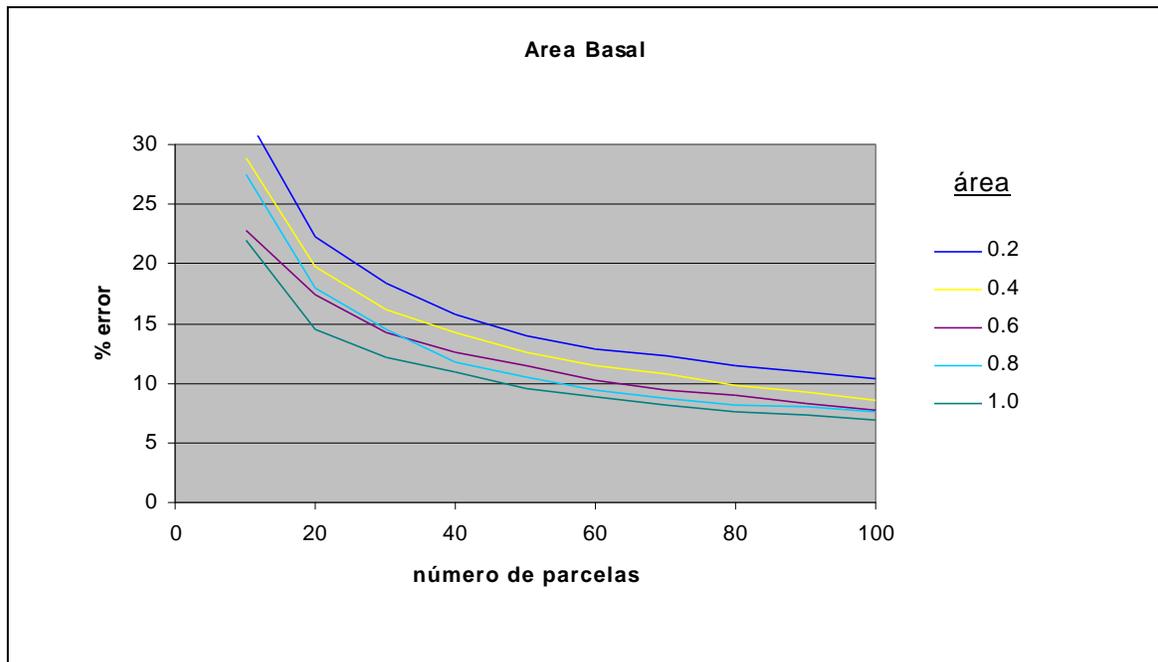
área	40	50	60	70
0,1	70	100		
0,2	60	82	105	
0,3	50	69	92	
0,4	44	62	81	102
0,5	40	58	72	90
0,6	38	51	67	81
0,7	36	47	60	72
0,8	30	42	54	68
0,9	29	40	51	62
1	27	37	47	58

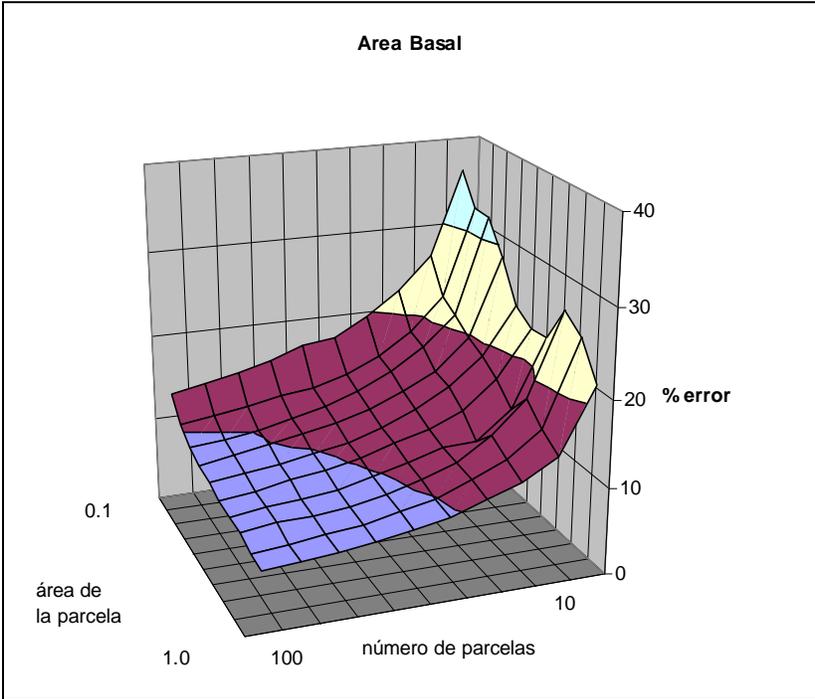
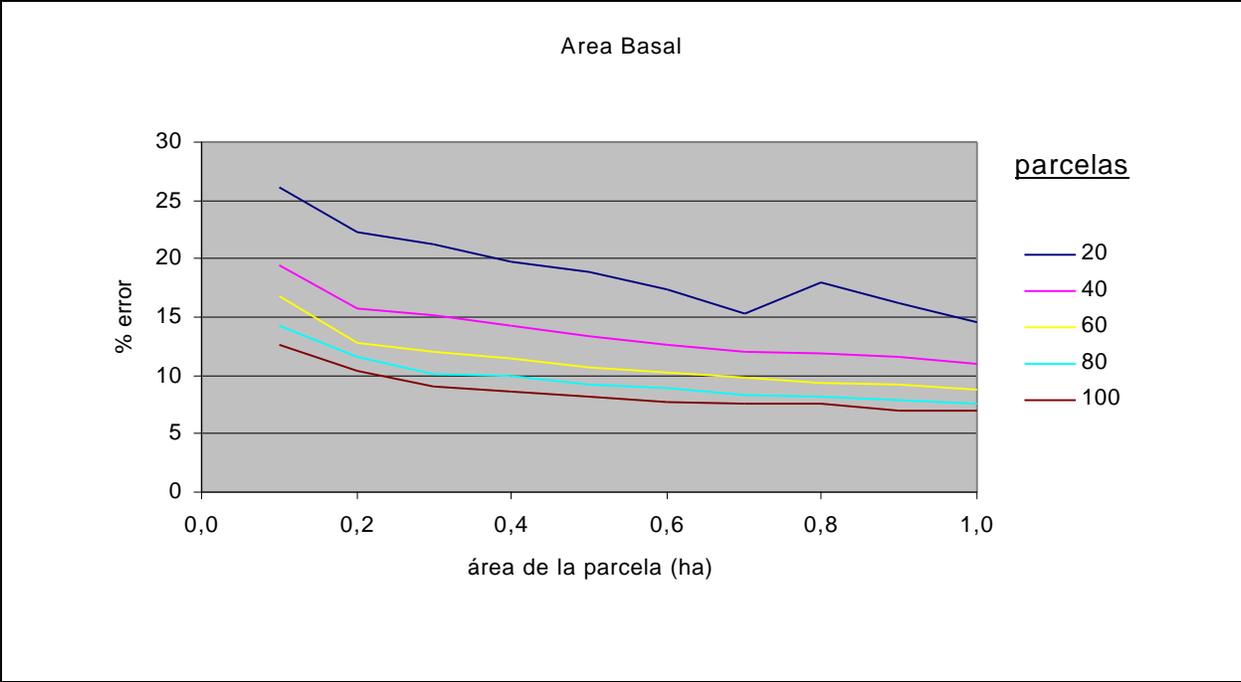


LAS TRANCAS: PARCELAS REGULARES

% Error en área basal de ecuación 1 con base en 10 inventarios con parcelas fijas (minDist = 80)

número parcelas	área de la parcela									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
10	36,1	32,5	32,5	29,0	24,4	22,9	23,2	27,5	25,8	21,9
20	26,2	22,3	21,3	19,7	18,8	17,4	15,3	18,0	16,1	14,5
30	22,2	18,4	17,8	16,1	15,7	14,3	12,2	14,5	13,2	12,2
40	19,5	15,7	15,2	14,2	13,4	12,6	12,0	11,8	11,6	11,0
50	17,3	13,9	13,4	12,5	11,9	11,5	10,7	10,4	9,9	9,6
60	16,7	12,8	12,0	11,5	10,7	10,3	9,8	9,4	9,2	8,8
70	15,3	12,3	11,0	10,7	9,8	9,4	8,9	8,7	8,3	8,1
80	14,3	11,5	10,1	9,9	9,2	8,9	8,3	8,1	7,8	7,6
90	13,6	10,9	9,5	9,2	8,6	8,3	8,0	8,0	7,3	7,3
100	12,7	10,4	9,1	8,6	8,2	7,8	7,5	7,6	7,0	6,9

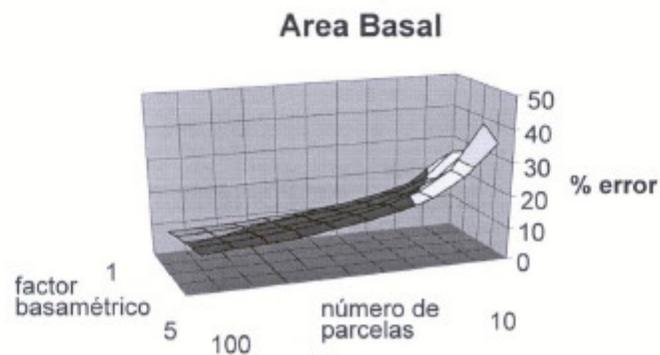
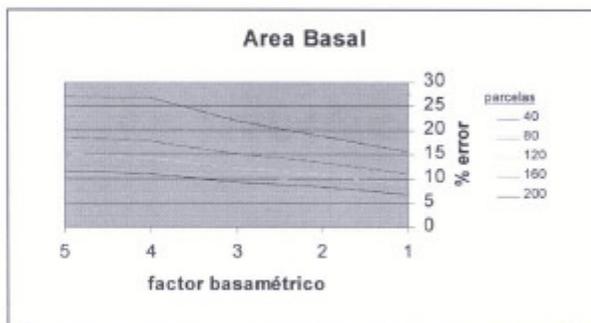
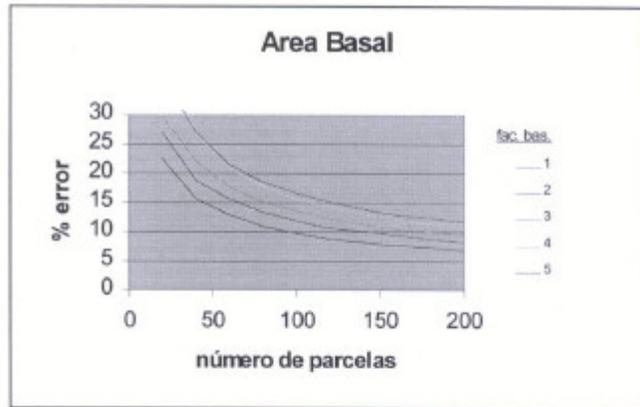




LAS TRANCAS 95, PARCELAS BITTERLICH

% Error (ecuación 1) en área basal de parcelas Bitterlich con base en 10 inventarios

núm. parcelas	factor basamétrico				
	1	2	3	4	5
20	22,5	27,1	29,8	40,3	36,5
40	15,7	18,8	22,0	26,9	27,0
60	13,0	15,6	17,7	21,0	21,6
80	11,1	13,4	15,3	17,9	18,7
100	9,8	11,9	13,6	15,7	16,7
120	8,8	10,8	12,3	14,3	15,2
140	8,3	10,1	11,3	13,2	13,9
160	7,8	9,4	10,6	12,2	13,0
180	7,4	8,9	10,0	11,5	12,4
200	6,9	8,3	9,4	11,0	11,7



INVENTARIO LOMERIO : MODELO DE COSTOS

Cálculo de costos del inventarios en unidades de días de equipo de medición

<u>Días por distancia</u>	km/día	día/km	<u>Ejemplo del Inventario de Lomerío</u>	
apertura de pica	2,00	0,500	número de parcelas	100
recorrido entre parcelas	16,00	0,063	distancia entre parcelas (km)	0,75
total (Dd) =	0,563		distancia total (km)	75
 <u>Días por área</u>	 ha/día	 día/ha	area de parcela (ha)	0,5
levantamiento de parcelas	1,5	0,667	total área (ha)	50
total (Da) =	0,667			

número total de días (Nd) = Dd * distancia + Da * area número de días = 75,5

Dp = distancia entre parcelas = $\sqrt{Ab / n}$ (Dauber, 1995, p.V-2)

Dtt = distancia total terórica = $\sqrt{Ab * n}$ (Dauber, 1995, p.V-2)

Dtr = distancia real = correcion a la distancia total teorica
Dt * .5

Ab = área del bosque 220 km²

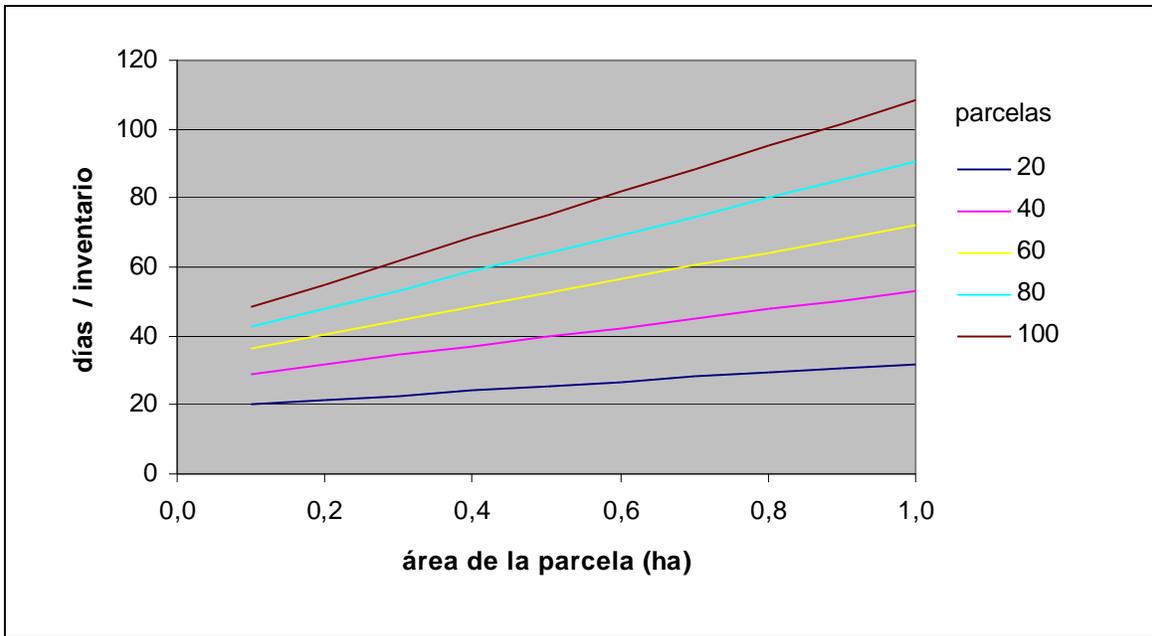
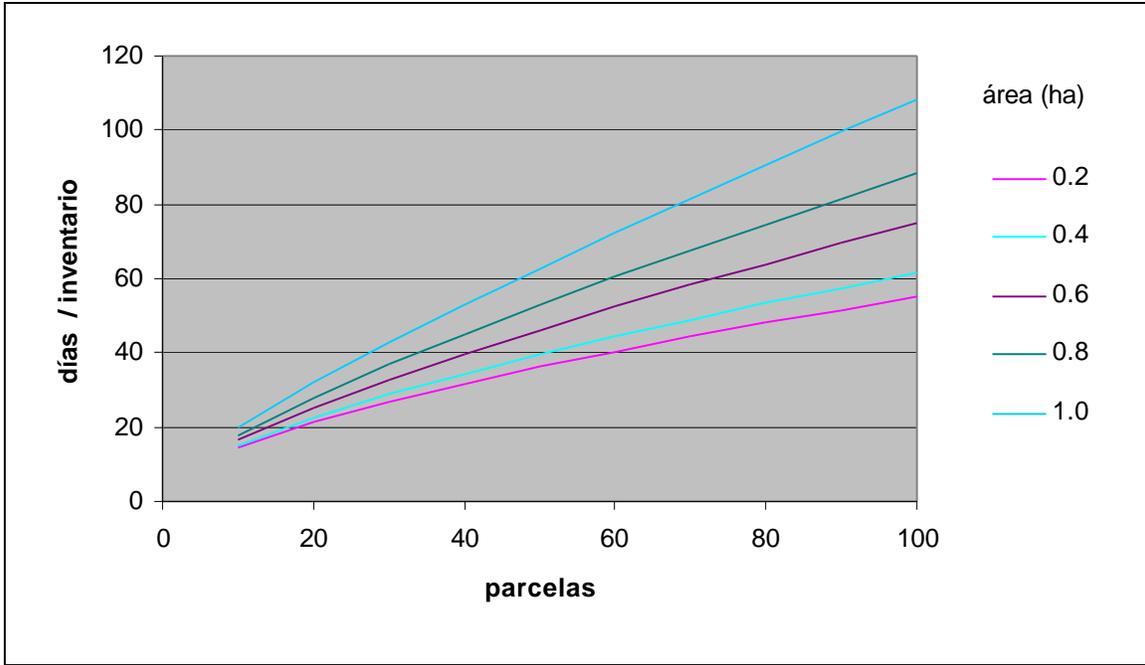
=

Ap = área de la parcela

Np = número de parcelas

Cuadro de costos (días de brigada en el campo)

números	área de la parcela									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
10	14	15	15	16	17	17	18	19	19	20
20	20	21	23	24	25	27	28	29	31	32
30	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43
40	29	32	34	37	40	42	45	48	50	53
50	33	36	39	43	46	49	53	56	59	63
60	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72
70	40	44	49	54		63	68	72	77	82
80	43	48	53		64	69	75	80	85	91
90	46	52		64	70	76	82	88	94	100
100	48	55	62	68	75	82	88	95	102	108

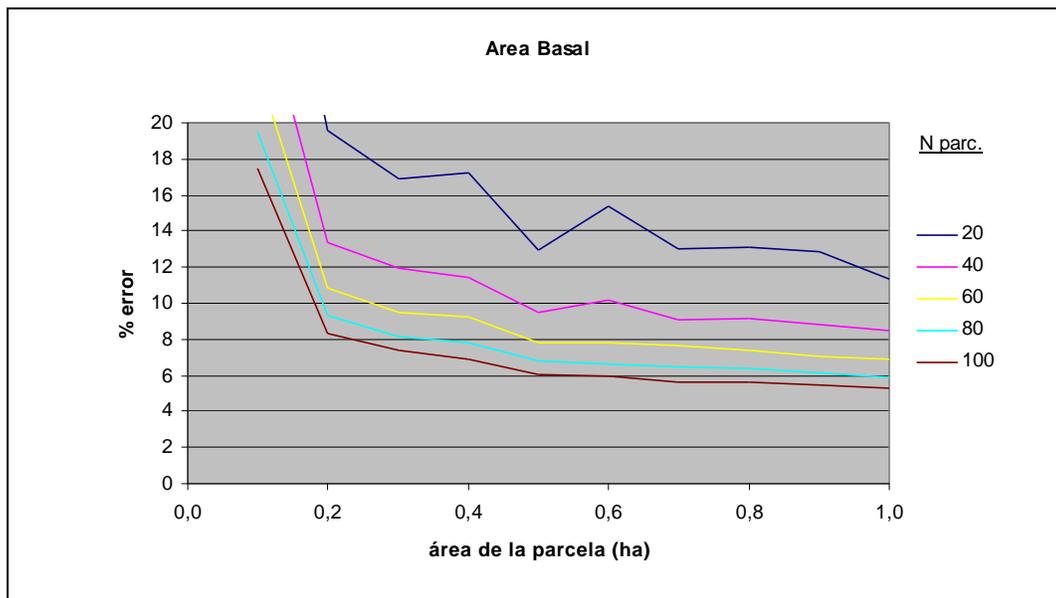
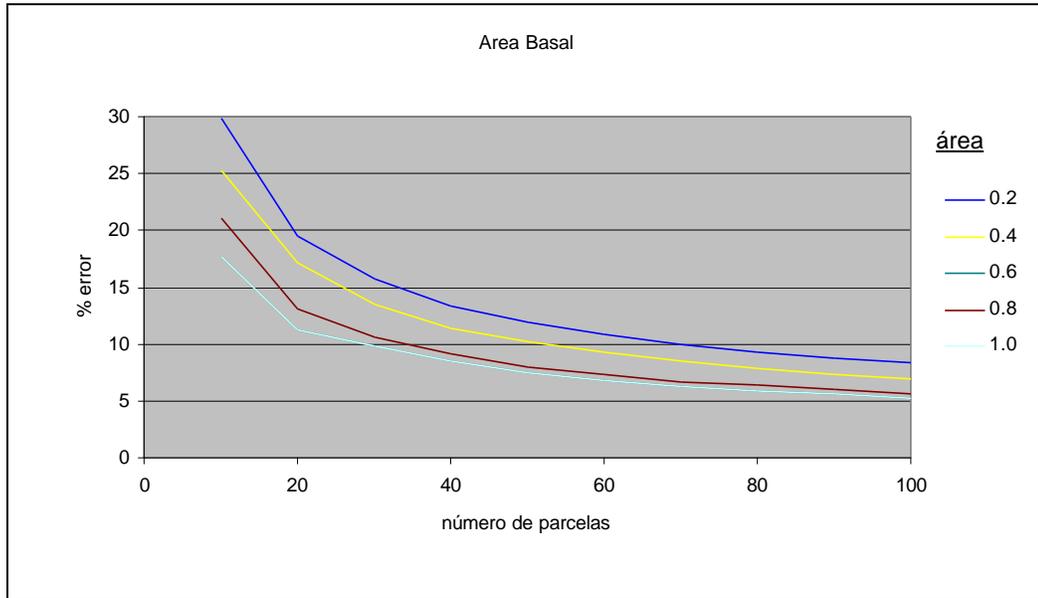


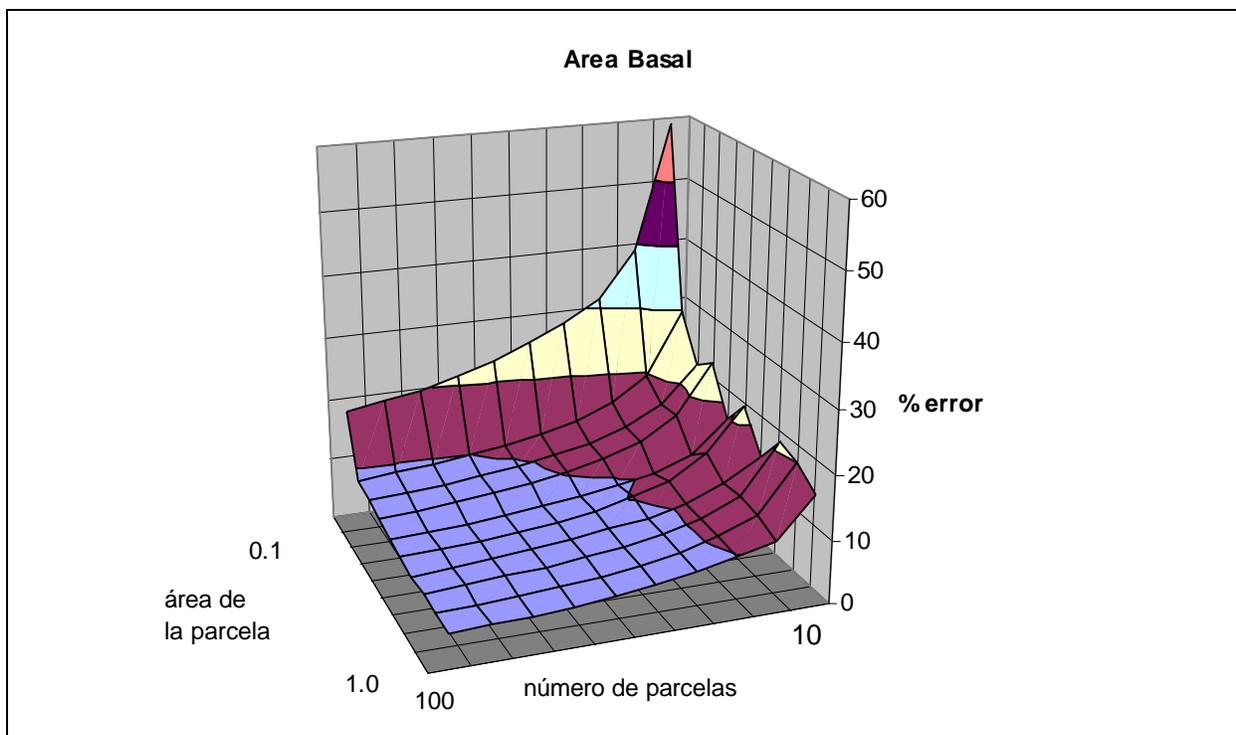
EL CHORE: SIMULACION DE INVENTARIOS EN BASE A PARCELAS SUBDIVIDIDAS

El Choré

% Error en Area Basal (ecuación 1) con base en 10 inventarios simulados de parcelas subdivididas

núm parce las	área de la parcela (ha)									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
10	59,0	29,8	22,9	25,2	17,8	22,4	16,5	21,1	20,2	17,7
20	38,9	19,6	16,9	17,2	12,9	15,3	13,0	13,1	12,8	11,3
30	31,3	15,8	13,7	13,5	10,7	11,8	10,4	10,7	10,6	9,8
40	27,9	13,4	11,9	11,4	9,5	10,2	9,1	9,2	8,9	8,5
50	25,4	12,0	10,6	10,2	8,6	8,7	8,4	8,0	7,8	7,5
60	23,1	10,8	9,5	9,3	7,8	7,8	7,7	7,4	7,1	6,9
70	21,1	9,9	8,8	8,5	7,3	7,2	6,9	6,7	6,6	6,3
80	19,5	9,3	8,2	7,8	6,8	6,6	6,4	6,4	6,1	5,9
90	18,6	8,8	7,8	7,3	6,4	6,2	6,0	6,0	5,8	5,6
100	17,5	8,3	7,4	6,9	6,1	6,0	5,6	5,7	5,5	5,3



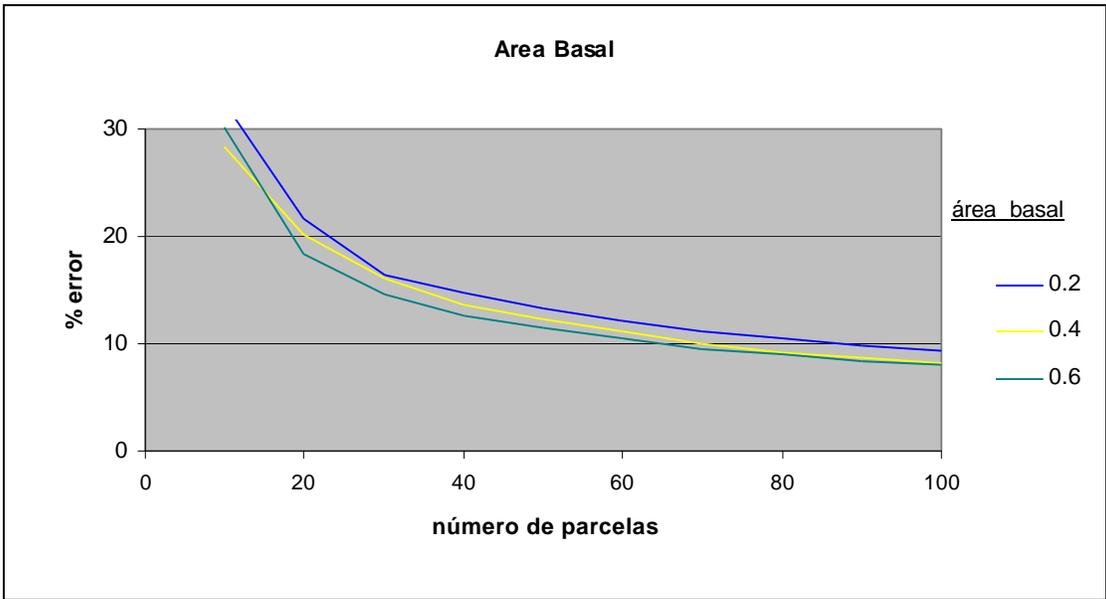


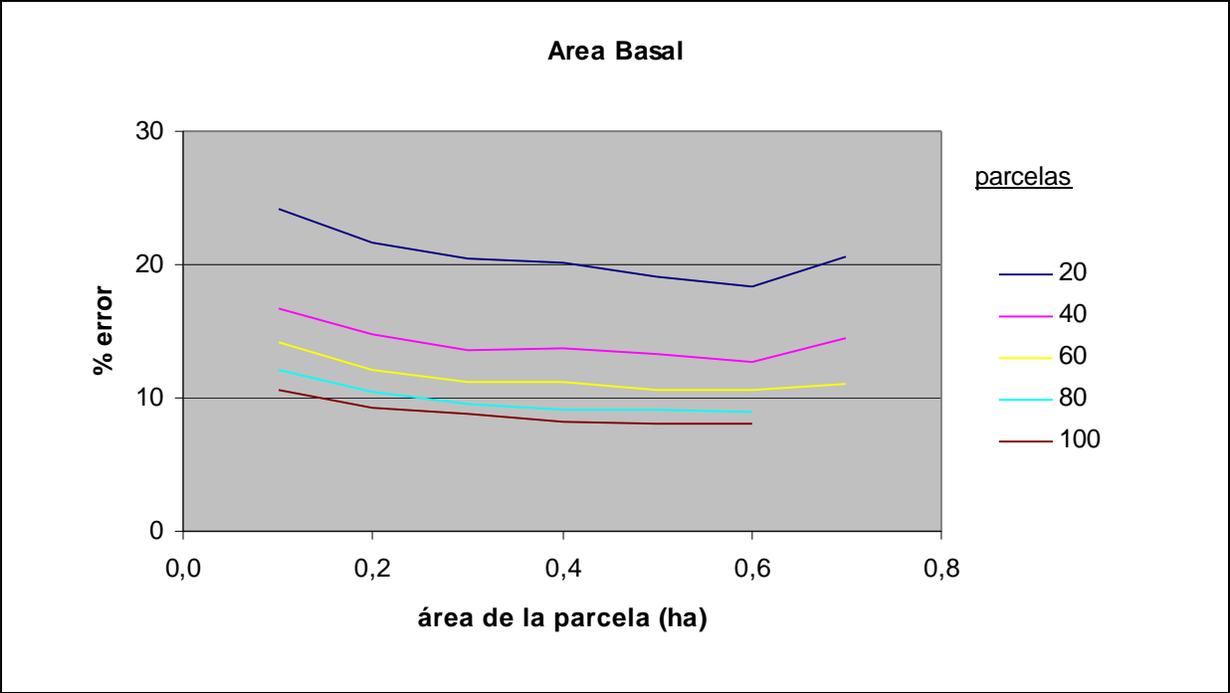
LAGO REY: SIMULACION DE SIMULACION EN BASE A PARCELAS SUBDIVIDIDAS

Lago Rey

% Error en Area Basal (ecuación 1) en base a 10 inventarios simulados de parcelas subdivididas

núm parcelas	área de la parcela (ha)									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
10	38,2	32,4	33,0	28,4	29,5	30,1	28,1			
20	24,2	21,6	20,4	20,1	19,1	18,4	20,7			
30	19,2	16,4	16,2	16,0	14,9	14,6	16,7			
40	16,7	14,8	13,6	13,7	13,2	12,7	14,4			
50	15,4	13,2	12,2	12,4	11,8	11,4	12,1			
60	14,2	12,2	11,3	11,2	10,7	10,5	11,0			
70	12,9	11,1	10,2	10,0	9,7	9,6	9,4			
80	12,1	10,4	9,5	9,2	9,1	9,0				
90	11,3	9,9	9,2	8,7	8,5	8,4				
100	10,5	9,3	8,7	8,2	8,0	8,1				





ANEXO 4: SEMINARIO SOBRE OPTIMIZACION DE INVENTARIOS FORESTALES

El día 2 de septiembre se realizó una seminario para presentar el modelo de simulación y discutir inventarios forestales en general.

Lista de Participantes:

Arce R., L. Alberto	CIMAL
Cerrogrande T., Gregorio	CIMAL
Chávez H., Angel	Lago Rey Ltda.
Cordero, William	BOLFOR
Gil L., Pablo	La Chonta Ltda.
Gunnar Marklund, Lars	Swedforest
Merlo, Floilán	BOLFOR
Orosco G., Benigno	CIMAR
Rojas, Nelson	BOLFOR
Ruiz Ibáñez, Nestor	FFMA
Saravia, Pedro	BOLFOR
Titze, Eric	SIF
Velarde P., Fernando	CIMA

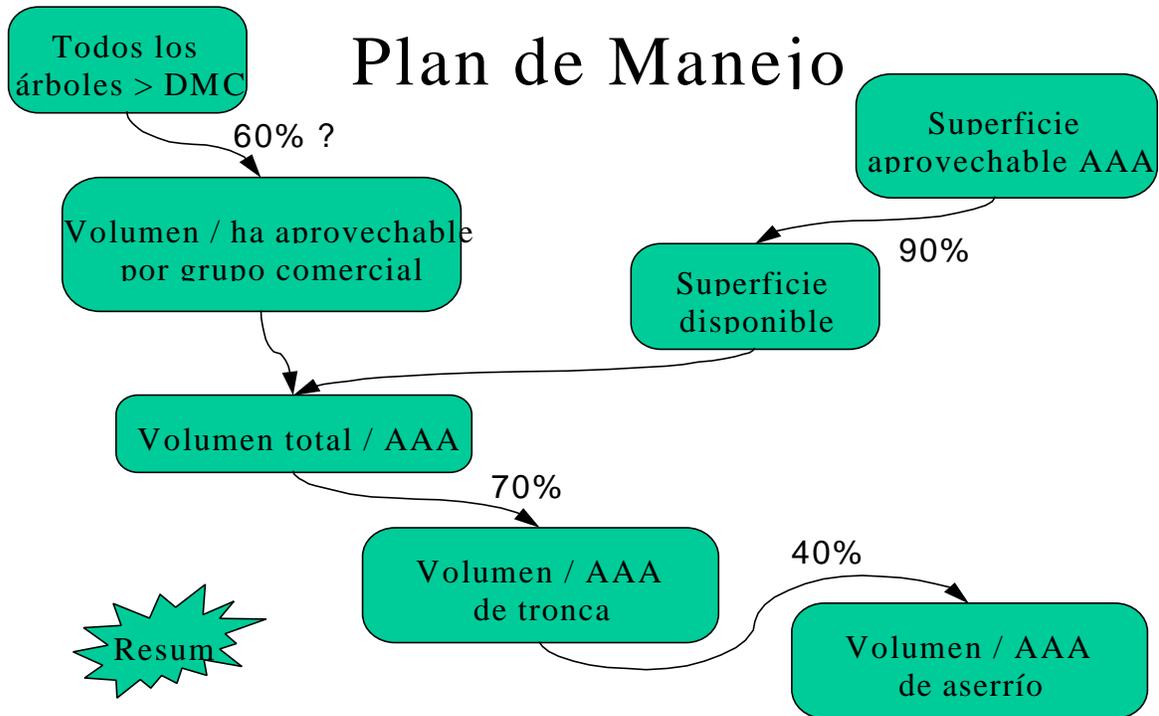
A continuación se incluyen las diapositivas presentadas por el consultor.

David Hughell
Consultor en inventarios forestales

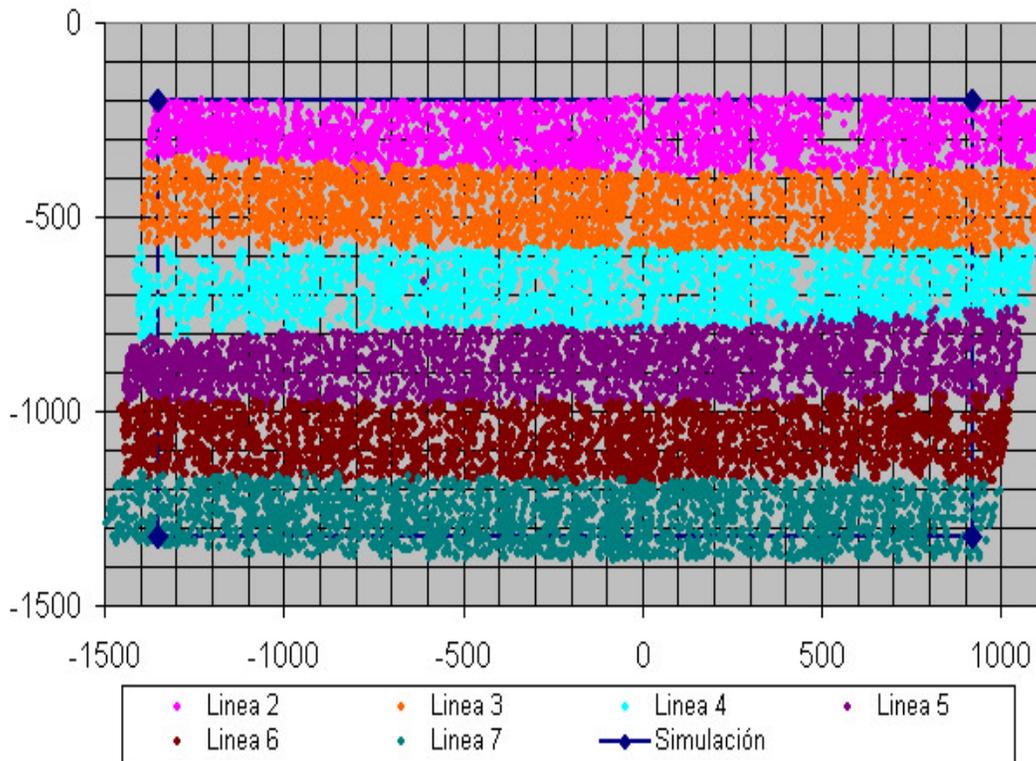
- **Inventarios forestales de reconocimiento**
- **Cálculo de resúmenes**
- **Simulación de muestreo**
- **Modelo de costos**
- **Conclusiones y recomendaciones**

Diseño del Inventario Forestal

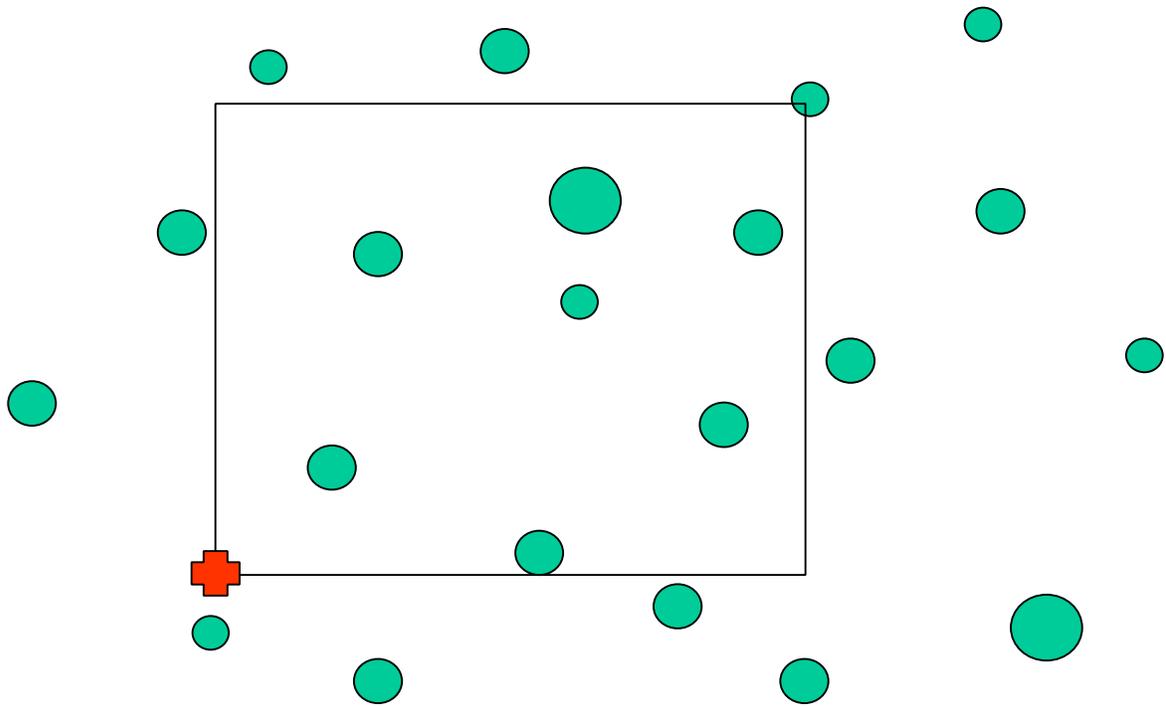
- **¿Estratificar ?**
- **Muestreo aleatorio vs. sistemático**
- **Parcelas de área fija vs. variable (Bitterlich)**
- **Tamaño de la parcela**
- **Número de parcelas**



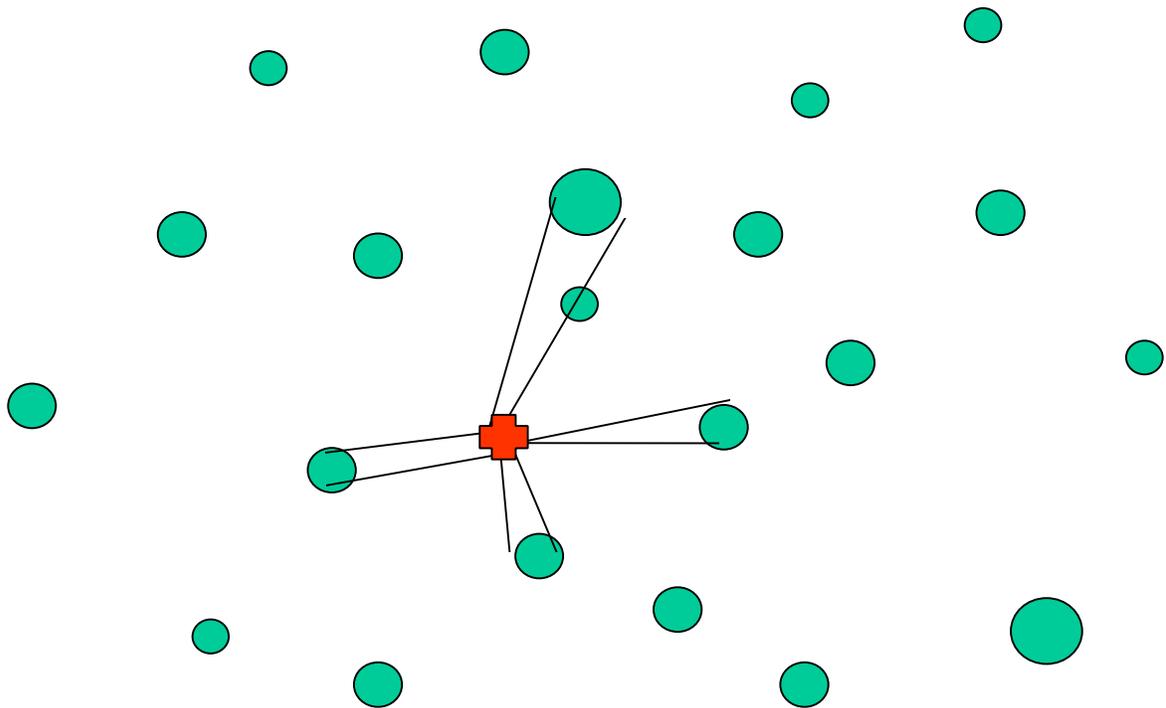
Las Trancas



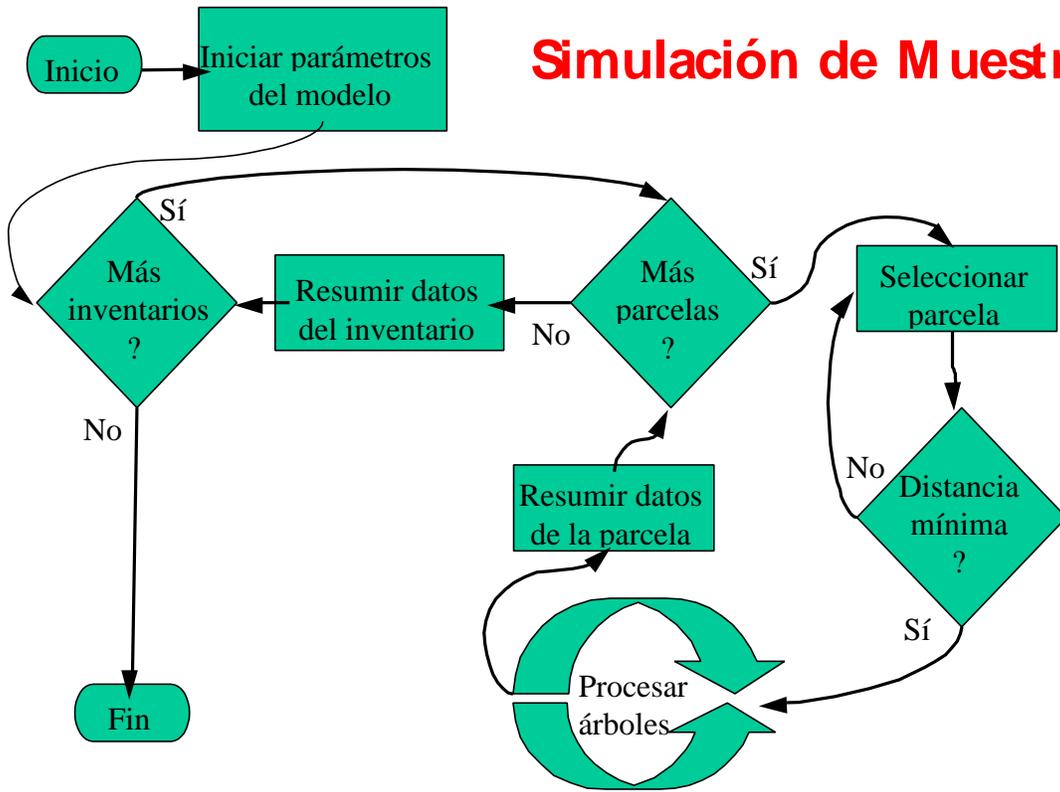
Parcela aleatoria



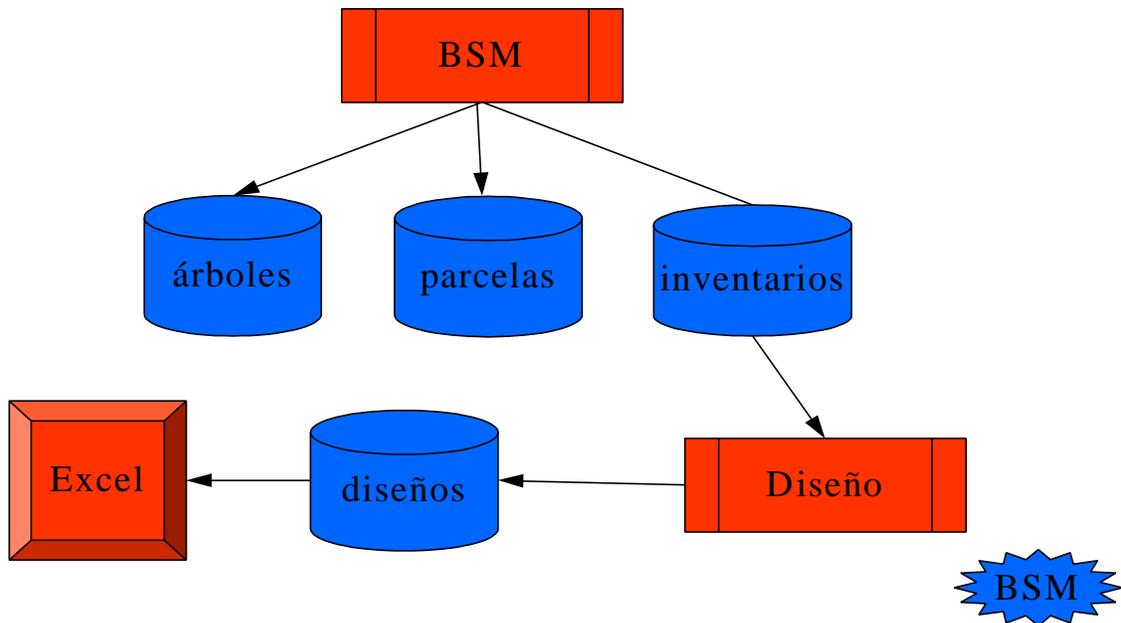
Parcela aleatoria Bitterlich



Simulación de Muestreo



Ejecución de BSM



Cálculo del % Error

inventario
$$e = \frac{s}{\sqrt{n}} \frac{t_{.05, gl}}{X}$$

Promedio de inventarios
$$e = \frac{\sum_{parc} \frac{s_{parc}}{\sqrt{n_{parc}}} \frac{t_{.05, gl}}{X_{inv}}}{n_{inven}}$$

Del des.est. de inventarios
$$e = \frac{s_{inv}}{X_{dis}} \frac{t_{.05, gl}}{X_{dis}}$$

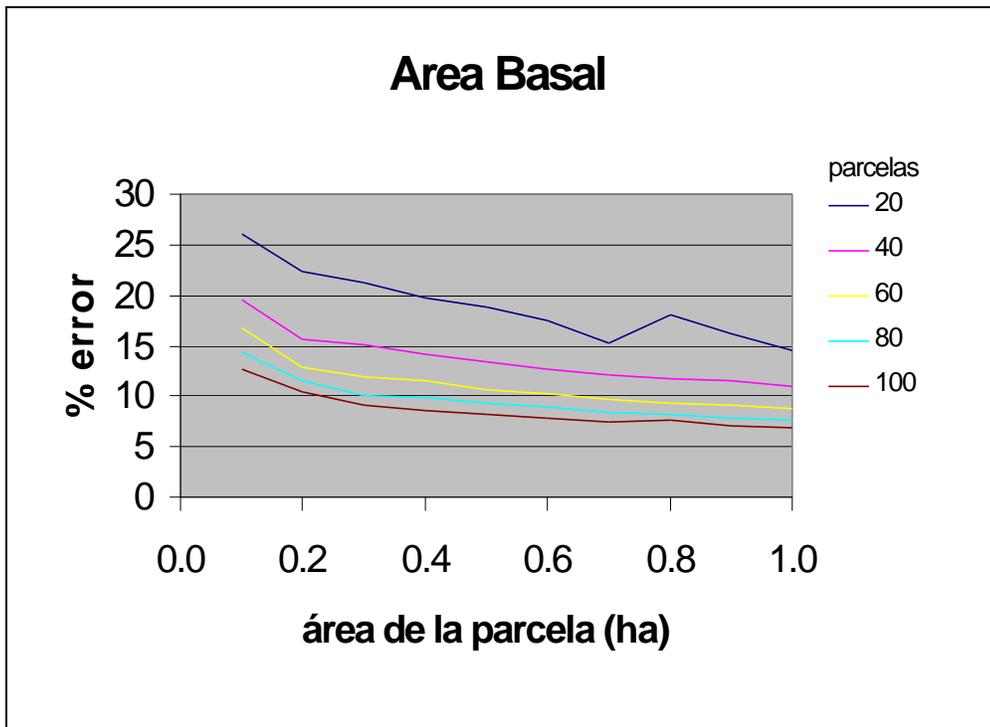
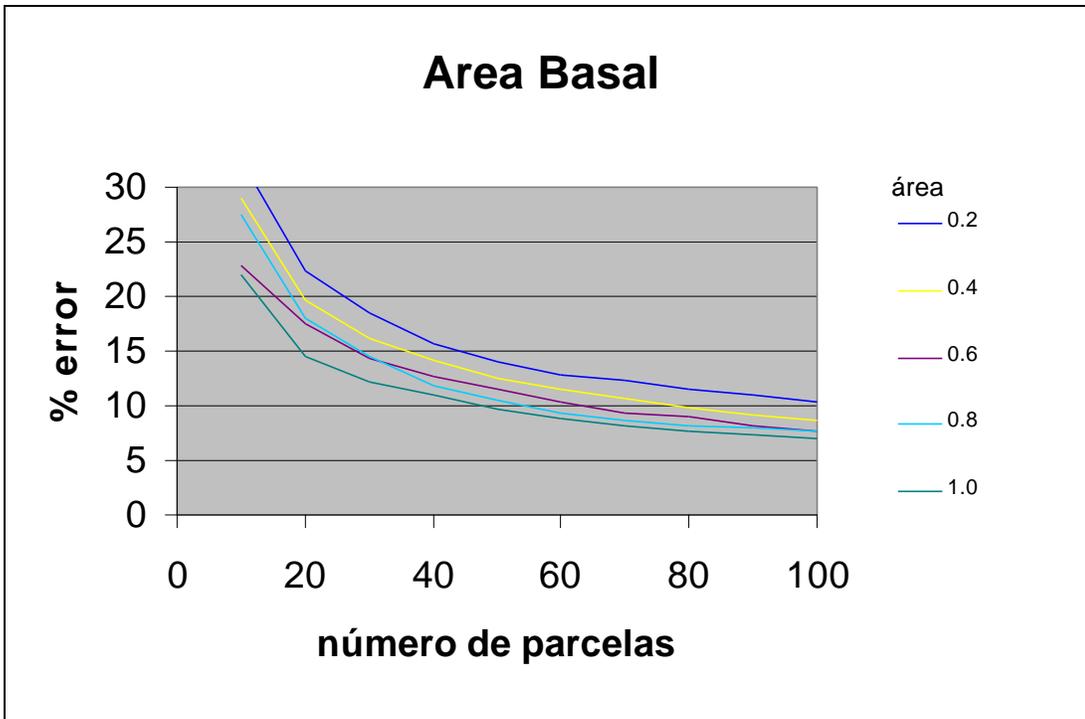
Dif. con valor exacto
$$e = \frac{\sqrt{\sum_{inv} (X_{inv} - X_{censo})^2 / (n_{inv} - 1)}}{X_{censo}} t_{.05, gl}$$

Las Trancas 95

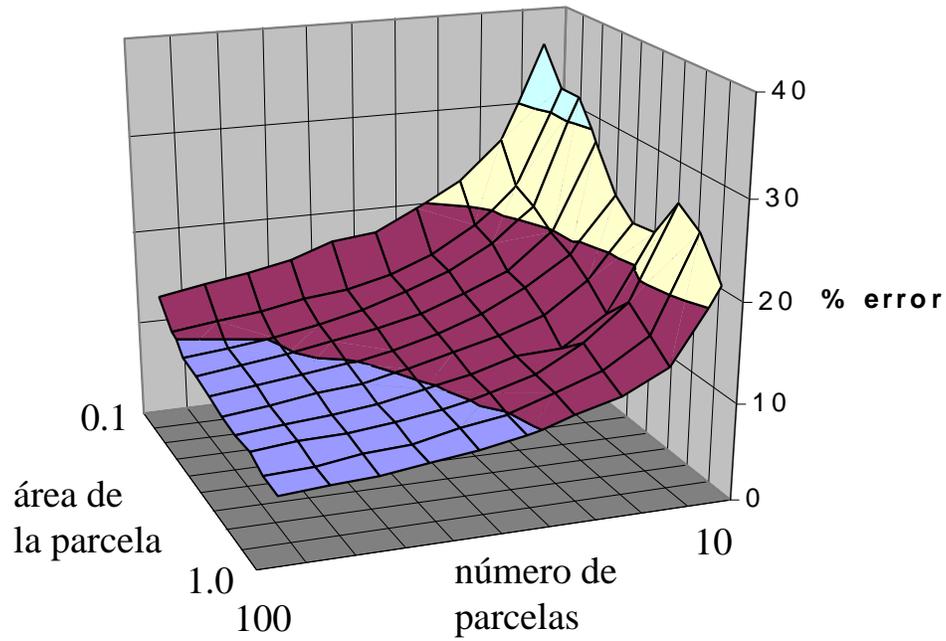
% Error en el área basal (ecuación 1)

% Error en Area Basal

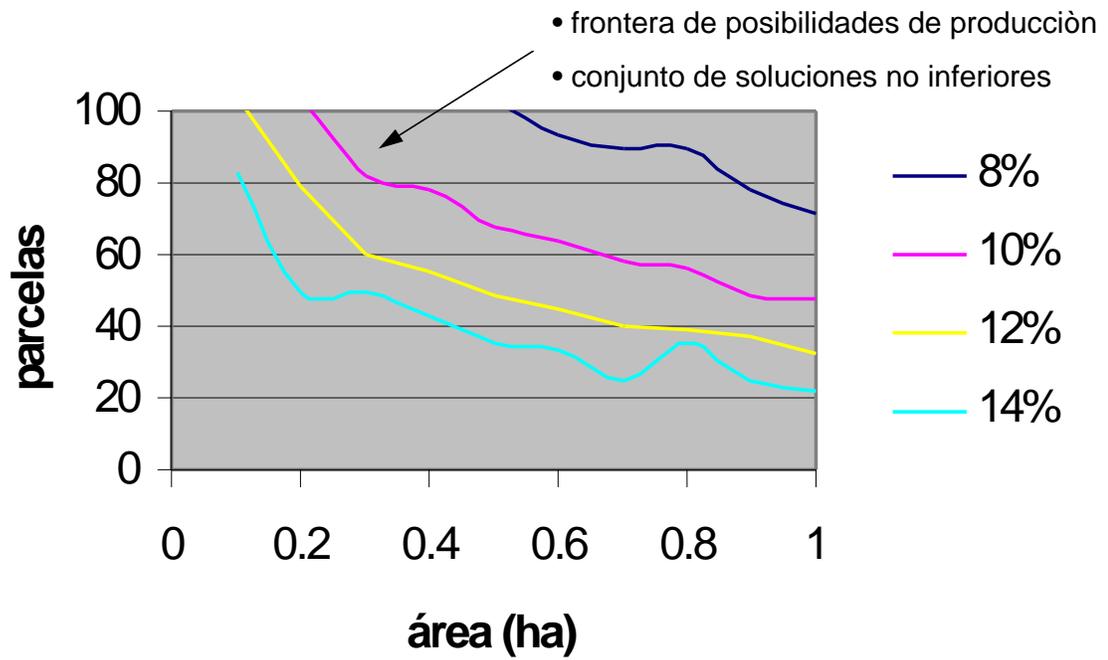
núm parcelas	área de la parcela									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
10	36.1	32.5	32.5	29.0	24.4	22.9	23.2	27.5	25.8	21.9
20	26.2	22.3	21.3	19.7	18.8	17.4	15.3	18.0	16.1	14.5
30	22.2	18.4	17.8	16.1	15.7	14.3	12.2	14.5	13.2	12.2
40	19.5	15.7	15.2	14.2	13.4	12.6	12.0	11.8	11.6	11.0
50	17.3	13.9	13.4	12.5	11.9	11.5	10.7	10.4	9.9	9.6
60	16.7	12.8	12.0	11.5	10.7	10.3	9.8	9.4	9.2	8.8
70	15.3	12.3	11.0	10.7	9.8	9.4	8.9	8.7	8.3	8.1
80	14.3	11.5	10.1	9.9	9.2	8.9	8.3	8.1	7.8	7.6
90	13.6	10.9	9.5	9.2	8.6	8.3	8.0	8.0	7.3	7.3
100	12.7	10.4	9.1	8.6	8.2	7.8	7.5	7.6	7.0	6.9



Area Basal



Iso-Curvas de Error



Modelo de Costos: Lomerío

Brigada días por km

apertura de pica	2 km /día	0.5 días / km
recorrido entre parc.	16 km/día	<u>0.063 días / km</u>
		0.563 días / km

Brigada días por área levantada

1.5 ha / día	0.667 día / km
--------------	----------------

$$\text{Brigada días} = 0.564 * \text{distancia} + 0.667 * \text{área levantada}$$

Costos

$$\text{Brigada días} = 0.564 * \text{distancia} + 0.667 * \text{área levantada}$$

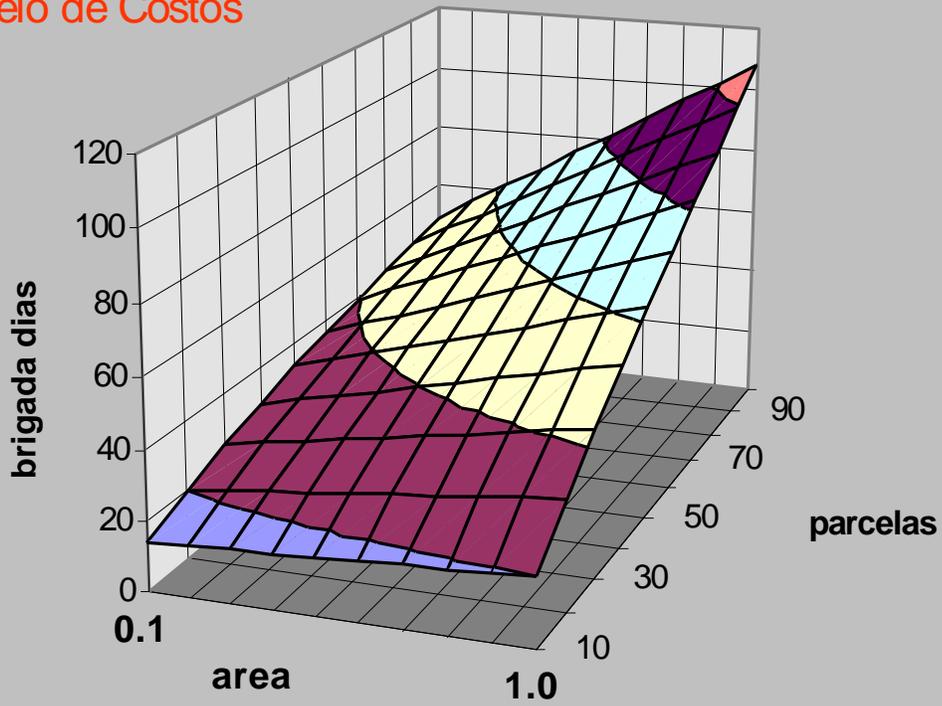
$$\text{Dist. recorrido} = \text{sqrt} (\text{área total} * \text{núm. de parc.}) * F$$

$$\text{Area levantada} = \text{área de la parc.} * \text{núm. de parc.}$$

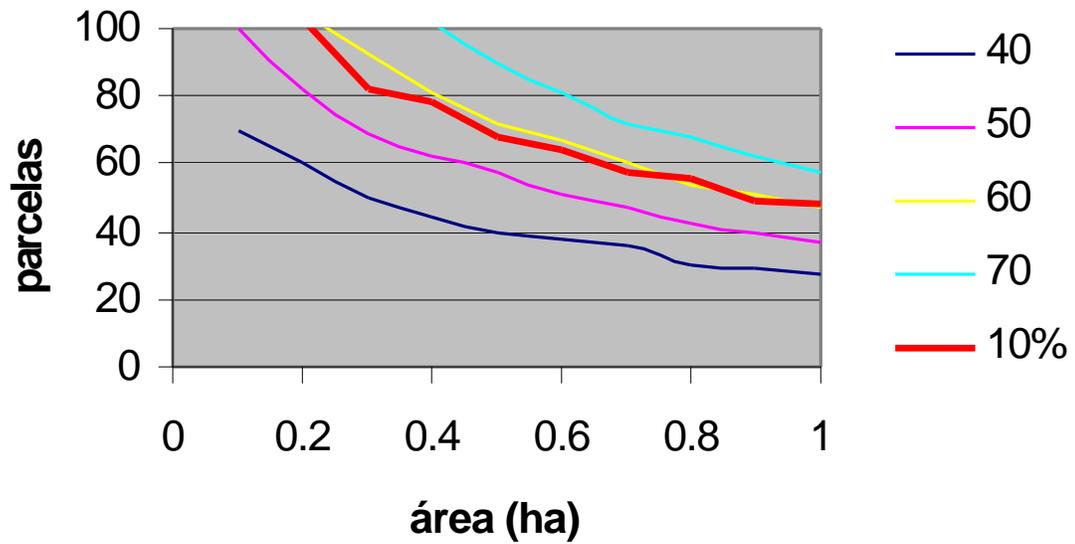
Cuadro de costos (días de brigada en el campo)

núm parcelas	área de la parcela									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
10	14	15	15	16	17	17	18	19	19	20
20	20	21	23	24	25	27	28	29	31	32
30	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43
40	29	32	34	37	40	42	45	48	50	53
50	33	36	39	43	46	49	53	56	59	63
60	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72
70	40	44	49	54	58	63	68	72	77	82
80	43	48	53	59	64	69	75	80	85	91
90	46	52	58	64	70	76	82	88	94	100
100	48	55	62	68	75	82	88	95	102	108

Modelo de Costos



Iso-Curvas de Brigada-Días

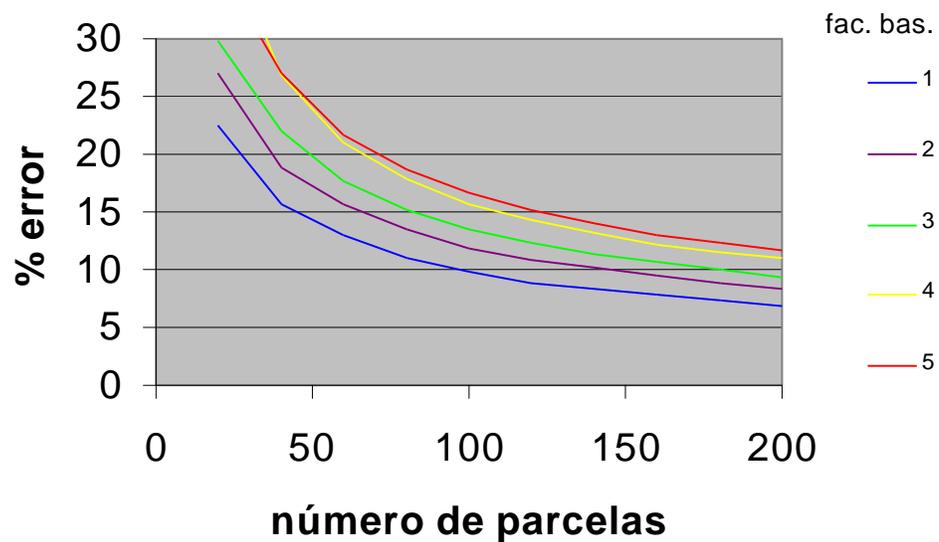


Modelo de Inventarios Eficientes

Tamaño de la parcela = f (Densidad, Dap, agregación)

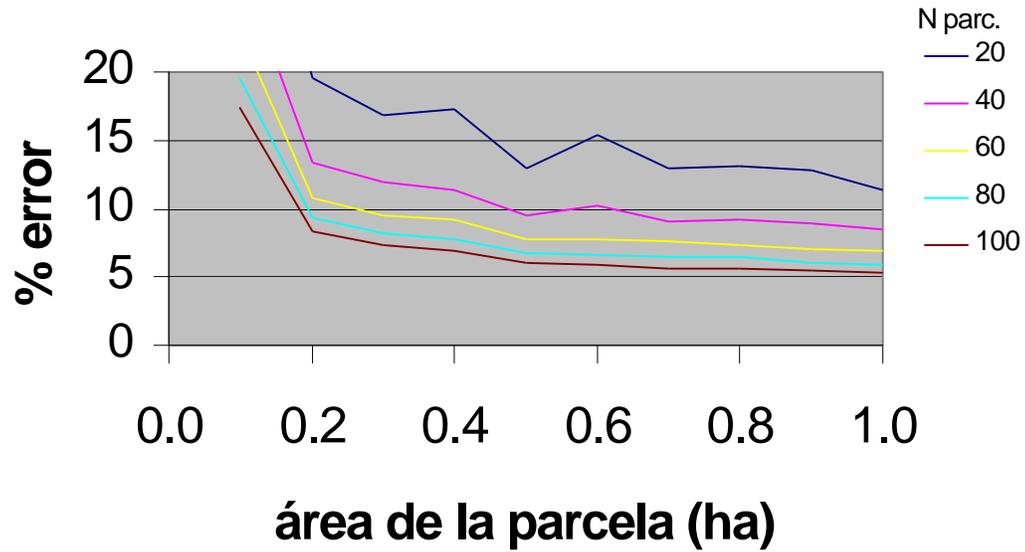
Número de parcelas = (tamaño, error, costos)

Las Trancas: Bitterlich Area Basal



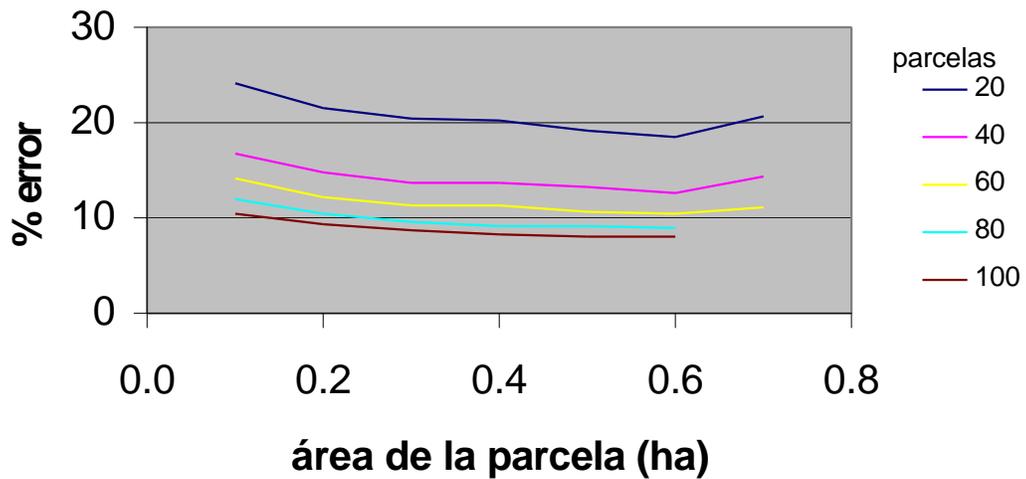
El Choré: Subparcelas

Area Basal



Lago Rey: Subparcelas

Area Basal



Recomendaciones

- Usar paquetes de manejo de información
- Automatizar generación de tablas para planes de manejo
- Evaluar la estratificación
- Usar programa de simulación
- Desarrollar modelo de inventarios eficientes

ANEXO 5: ECUACIONES APLICADAS

Promedio:

$$X = \frac{\sum x}{n}$$

Ojo: las estadísticas del dap son calculadas en base al dap cuadrático:

$$Dap_{cuadrático} = \sqrt{\frac{\sum dap^2}{n}}$$

Desviación estándar:

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}}$$

% Error:

$$e = \frac{s}{\sqrt{n}} \frac{t_{.05, gl}}{X}$$

Estimación del Error

Existen tres técnicas para estimar el porcentaje error de muestreo con datos de una serie de inventarios simulados.

1. Promedio de error de muestreo de los inventarios simulados:

$$e = \sum_{parc} \frac{s_{parc}}{\sqrt{n_{parc}}} \frac{t_{.05, gl}}{X_{inv}} / n_{parc}$$

2. Basado en la desviación estándar entre los inventarios:

$$e = \frac{s_{inv}}{X_{dis}} \frac{t_{.05, gl}}{X_{dis}}$$

3. Directamente de la diferencia en el valor estimado de cada inventario y el valor real del censo:

$$e = \frac{\sqrt{\sum_{inv} (X_{inv} - X_{censo})^2 / (n_{inv} - 1)} \cdot t_{.05, gl}}{X_{censo}}$$

En el archivo de resúmenes por diseño (archivo *.dbd*) se graban los datos de error calculado con las 3 ecuaciones en las variables con los sufijos “_err_p”, “_err”, y “_df_err”, respectivamente.

En todos los casos, el resultado de cada ecuación representa el porcentaje (del valor estimado) de la diferencia entre el valor estimado y el valor real obtenido en 95% de los inventarios. El Cuadro 1 indica empíricamente que no existe mucha diferencia tanto entre los valores de estas ecuaciones como entre el número de inventarios simulados (después de 10).

Cuadro 1. El porcentaje de error en área basal calculado con las 3 ecuaciones en base a simulaciones múltiples de inventarios de los datos del censo de Las Trancas 95.

Inventarios	Parcelas	Ec. 1	Ec. 2	Ec. 3
10	10	25.6	25.4	29.4
	50	9.3	9.0	9.4
	100	6.7	6.1	6.5
20	10	22.7	24.7	26.3
	50	9.3	9.8	10.5
	100	6.1	6.1	6.5
30	10	22.4	26.1	26.7
	50	9.3	9.5	9.1
	100	6.8	5.7	6.1
40	10	21.3	24.9	24.7
	50	9.2	9.0	9.2
	100	6.7	5.5	5.8